DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang. 14. April 1922. Heft 15.

Skelettprobleme[1]).

Von Hans Petersen, Gießen.

Das Skelettsystem ist der mechanische Apparat des Körpers. Wir fassen in ihm alle Organe und Gewebe zusammen, deren Aufgabe es ist, den mechanischen Einwirkungen, denen der Körper ausgesetzt ist, entweder unmittelbar Widerstand zu leisten, oder sie doch unschädlich zu machen. Er hilft zugleich die Werkzeuge liefern, durch die der Körper auf seine Umgebung mechanisch wirkt. Der aktive Teil, die Muskulatur, ist mit ihm zu einer Einheit verbunden, so, daß sie auch bei rein statischen Aufgaben die Leistungen des Skeletts überall ergänzt und zum Teil erst ermöglicht.

Ich möchte hier jedoch nicht den eigentlich mechanischen Problemen des Skelettapparates nachgehen, sondern ich möchte versuchen, die biologischen, die lebendigen Probleme dieses Organsystems zu erörtern. Es ist wohl aber von Zeit zu Zeit geboten, dem Problematischen eines Gebietes nachzugehen, ja vielleicht ist *der* Gedanke nicht ganz unberechtigt, der, neben dem Material, dem Tatsächlichen, in der Problemstellung das Bleibende der wissenschaftlichen Arbeit sieht. Der wissenschaftliche Fortschritt liegt vielleicht, neben den eigentlichen Entdeckungen, den Forschungsergebnissen, in dem Aufstellen neuer Probleme, in dem Zerlegen alter Fragen in neue.

Wir wollen damit beginnen, uns einen Einblick in die *Eigenart tierischer Konstruktionen* zu verschaffen.

Zwei Aufgaben sind es, denen der mechanische Apparat, die Skelettmuskelmaschine, zu genügen hat: statische Aufgaben und kinematische Aufgaben, Stützleistungen und Bewegungsleistungen. Die Aufgaben des Bauingenieurs und die des Maschineningenieurs sind durch *dasselbe* System konstruktiver Elemente gelöst, wenn auch nicht jeder Apparat sich durch die ganze Konstruktion erstreckt. Jedoch gilt ganz allgemein, daß jede Bewegung, die wir vollbringen, große Teile des ganzen Körpers in Mitleidenschaft zieht, größere, als es bei oberflächlicher Betrachtung den Anschein hat. Das beruht auf den Schwerpunktsverschiebungen, die bei jeder Bewegung stattfinden, und die bei dem labilen Gleichgewicht, in dem sich vor allem der menschliche Körper befindet, Gegenverschiebungen nötig machen oder doch zum mindesten irgendwelches Feststellen von Teilen. Jeder Griff nach einem Gegenstand, der vor mir auf dem Tische liegt, macht das bei genauer Selbstkontrolle deutlich.

In jedem Skelett steckt gleichzeitig eine Hochbaukonstruktion, eine Transportmaschine und eine ganze Reihe von Werkzeugmaschinen.

Denken wir zunächst an unsere eigenen Beine. Sie dienen als säulenartige Stützen beim Stehen, sie sind Fortbewegungsapparate, nicht nur für verschiedene Geschwindigkeiten, sondern für verschiedene *Arten* der Fortbewegung. Dabei beruht es wohl auf eben dieser merkwürdigen Mengenanforderung an die Skelettmuskelmaschine, daß die Verschiedenheiten der Geschwindigkeit in der Fortbewegung durch einen Wechsel in der Fortbewegungsart erreicht werden. Bei den Transportmaschinen der Technik gibt es so etwas nicht. Wenn die Lokomotive schneller laufen soll, so erhöht man die Umdrehungszahl, aber sie fällt nicht aus dem Schritt in Trab und Galopp.

Die vollendetste Laufkonstruktion unter den Tieren ist eben das Pferd mit seinen drei Fortbewegungsarten Schritt, Trab und Galopp. Dazu kommt noch der Sprung. Der Pferdekörper ist aber eine ebenso gute Hochbaukonstruktion. Es gelingt, ein totes Pferd hinzustellen[1]), wenn man seine Kniescheibe gegen den Femur feststellt, etwa durch einen eingeschlagenen Nagel. An der Patella ist dazu noch eine Art Einhak- oder Verankerungsvorrichtung vorhanden, so daß eine verhältnismäßig geringe Kraft genügt, die Patella in ihr festzuhalten (Fig. 1 u. 2)[2]). Das Tier steht also, fast ohne Muskelzug[3]), nahezu ausschließlich auf seiner Skelettkonstruktion; die zu gleicher Zeit die Aufgabe löst, eine vorzügliche Schritt-, Galopp- und Sprungmaschine zu sein. Dabei wird der Apparat während der verschiedenen Leistungen in ganz verschiedener Weise beansprucht.

Bei den Maschinen des Ingenieurs sind alle Teile zwangläufig miteinander verbunden. Nur an wenigen Umschaltstellen, die vom Maschinenführer bedient werden, ist ein Wechsel, eine Variation in der Bewegungsform möglich. Maschinenkinematik ist Zwanglauflehre (*Reuleaux*).

Die tierische Kinematik muß man dagegen Freilauflehre nennen. Die Gelenke und sonstigen

[1]) Nach einem Vortrag am 17. Dezember 1921 vor der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft zu Frankfurt a. M.

[1]) Cit. n. *du Bois Reymond*, Handb. d. vergl. Physiol., herausgegeb. von *Winterstein*.

[2]) Vgl. *Martin*, Lehrb. d. Anat. d. Haustiere Bd. *II*, 1914.

[3]) Das betrifft vor allem die Hinterbeine. Die Vorderextremität steht zwar in sich nur mit „Mitteln toter Führung" fest; jedoch ist der Vorderkörper durch einen Muskel, Serratus ant. (s. unt.) wie in einem Gurt zwischen den Schulterblättern eingehängt. Vgl. *Martin*, l. c.

Verbindungen, die beim Tier die Konstruktionselemente aneinanderfügen, haben meist mehr als *einen* Freiheitsgrad. Es ist bezeichnend, daß das einseitige Lauftier Pferd stark zwangläufig konstruiert ist, während wir selbst, der Mensch, das vielseitigste aller Wirbeltiere, nur an wenigen Stellen einen wirklichen Zwanglauf besitzen. Wir haben also in den tierischen Skelettgebilden sehr vielseitige, aber nichtsdestoweniger sehr „durchgearbeitete" Konstruktionen vor uns.

Konstruktion heißt uns bei allen diesen Sätzen ein Nebeneinander von Teilen, die aufeinander abgestimmt sind, miteinander *harmonieren*. Der Begriff des Harmonischen ist uns besonders wichtig. Er ist zu einem Zentralbegriff der Biologie geworden.

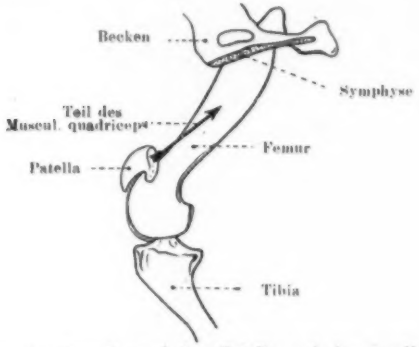

Fig. 1. Verankerung der Patella auf dem medialen Condylus beim Pferde. Ansicht von medial. (Nach *Martin*.)

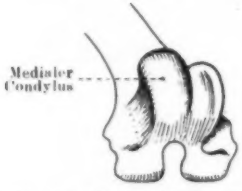

Fig. 2. Ansicht des distalen Femurendes von vorn. (Nach *Martin*.)

Was wir bisher erörtert haben, waren sozusagen die Fragen der reinen Leistung und ihre Verwirklichung in der Konstruktion der Skelettmuskelmaschine. Material, Knochen, Knorpel, Bandgewebe usw. steht in verschiedenster Art zur Verfügung, und so scheinen der Lösung irgendwie besondere Schranken nicht gesetzt zu sein. Es kommt aber ein interessantes Problem hinzu, das wir als das Raumproblem in der Konstruktion bezeichnen können.

Zwar ist der Habitus des Tieres, seine Gestalt, der Anblick, den es bietet, seine Bewegungsweise in hohem Maße von seinem konstruktiven Aufbau abhängig. Mir schwebt ein Satz von *Goethe* vor, den ich allerdings in seinen Schriften über Osteologie und Morphologie nicht habe finden können, „es sei nichts in der Haut, das nicht im Knochen sei". Aber das in diesem Satz angedeutete Verhältnis können wir auch umdrehen. Es ist bekannt, daß es eines immerhin geübten Auges bedarf, um z. B. im nackten Menschenkörper die Konstruktion zu sehen. Außen ist doch eigentlich alles ganz schön glatt und rund, und nur gewisse Linien und Schatten deuten die Konstruktion an. Diese glatte und geschlossene Außenseite ist eben ein Bauprinzip, etwas, das als ein besonderer Teil der gesamten Bauaufgabe gegeben ist. Sie folgt nicht aus der Konstruktion des mechanischen Apparates selbst. Es geht eben nicht an, Hebel, Winkel und Fortsätze aus der Maschine herauszubauen. Was das Tier außen an Fortsätzen trägt, ist zum Teil Werkzeug, in dessen Dienst die mechanische Konstruktion steht, teils aufgesetztes Ornament von im einzelnen unbekannter Bedeutung.

Wir wollen diesen einengenden Bedingungskomplex die Forderung nach der geschlossenen Außenkontur nennen. Die Kopfkonstruktion eines Kabeljau mag als Beispiel dienen (Fig. 3).

Wir haben den eigentlichen Schädel, an dem das Visceralskelett — dazu gehört der Kieferapparat — aufgehängt ist. Vom Zungenbeinapparat, der dem Kieferapparat konstruktiv und kinematisch angeschlossen ist, wollen wir absehen und nur die eigentliche Greif- und Haltezange betrachten. Sie besteht aus nicht weniger als *neun* gegeneinander beweglichen Teilen. Das ist zunächst der Schädel, der am Vomer Zähne trägt, und den wir

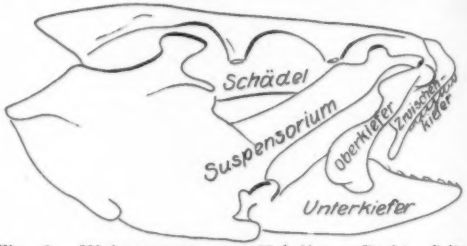

Fig. 3. Kieferapparat vom Kabeljau. Rechte Seite allein gezeichnet, Schnauzendach entfernt. (Nach *Petersen* 1914.)

als Grundglied betrachten. Dann gehören dazu zwei Kiefersuspensorien, zwei gegeneinander bewegliche Unterkieferhälften, zwei Zwischenkiefer, zwei Oberkiefer. Dieser Komplex wird durch ein Heer von Gelenken, Bändern und Muskeln vereinigt. Er ist in einen *Kegel* oder eine *Pyramide* hineingebaut und auf der Rückenseite sogar mit einer Verschalung versehen (Schnauzendach). Das hat seine ganz bestimmte Bedeutung. Wenn wir uns daran erinnern, daß man dem ins Wasser eingetauchten Teil eines Schiffsrumpfes eine glatte und zugespitzte Form verleiht und keine Balken und Winkel daraus hervorstehen läßt, so wird uns die Bedeutung dieser Einrichtung klar.

Dies Beispiel möge genügen, um zu zeigen, wie der eigentliche Körperbau durch die Kombination *zweier* Probleme in der gestellten Aufgabe zustande kommt, dem eigentlichen Konstruktionsproblem und dem Problem des Raumes, den diese Konstruktion einnehmen darf, der wohl vielfach sein Gepräge von ihr erhält, der jedoch ebensogut seine eigenen Gesetze und Bedingungen hat.

Wenn wir durch einen zoologischen Garten gehen oder durch die Räume eines Museums, so sehen wir eine Menge verschiedener Tiergestalten. Jede ist die fertige Lösung einer konstruktiven Aufgabe. *Wie* wird diese denn nun aber gelöst, *wie macht der Körper das, wenn er eine solche Konstruktion ausführt?*

Fig. 4. Querschnitt durch einen menschlichen Embryo. Zwischen den Organanlagen des Mesenchym, das in der Extremitätenknospe besonders dicht ist (Blastem). (Aus *Petersen*, Histologie u. mikrosk. Anatomie, J. F. Bergmann, 1922.)

Jede dieser Gestalten beginnt mit *einer Zelle*. Aus ihr entwickelt sich der Embryo. Dieser hat zunächst kein Skelett, selbst nicht zu einer Zeit, wo die meisten Organe schon erkennbar sind. Die Entwicklung des Skeletts in einem solchen Embryo ist für uns die Lösung eben der konstruktiven Aufgabe, deren Natur anzudeuten die bisherigen Ausführungen dienen sollten.

In dem Stadium, von dem wir ausgehen, besteht der Embryo aus Zellen, die Epithelien entsprechen. Zwischen diesen Organanlagen breitet sich nun ein sehr merkwürdiges Gewebe aus, das wir mit dem Namen *„Mesenchym"* bezeichnen. Es besteht aus verzweigten Zellen, die miteinander zusammenhängen, ein Netz bilden. Zwischen ihnen liegt eine teils wirklich flüssige, teils gallertartige Grundsubstanz (Fig. 4).

Dieses Mesenchym füllt alle Lücken zwischen den Epithelien aus, es bildet ein *Negativ* aller Organformen, also ein System von Platten, Wänden, Balken, etwa wie die Wände eines Hauses, wenn wir alle Organanlagen dazwischen wegdenken. In diesem System kristallisiert nun gleichsam das Skelett aus, in diese *bereits gegebene Architektur* werden Gebilde besonderer mechanischer Wirksamkeit, Träger, Bögen, Binder, Transmissionen hineingezogen, aus Knochen, Knorpel, Bändern und all den mechanischen Substanzen, über die der Wirbeltierkörper verfügt.

Diese Skelettstücke treten nun so in die Erscheinung, daß sich zunächst Verdichtungen im Mesenchym, Zellanhäufungen, bilden, durch die bereits die Form der künftigen Konstruktionsteile — allerdings noch unbestimmt — angedeutet wird. *Blasteme* nennen wir solche Anhäufungen. Diese Blasteme, die im Mesenchym auftauchen, sind der Mutterboden nicht nur für den passiven Teil, sondern auch an sehr vielen Stellen des Körpers für den aktiven Teil des Bewegungsapparates, für die Muskulatur.

Was sich nun im Laufe allmählicher Zellverschiebungen und histologischer Differenzierung herauswindet aus dem Urbrei des Mesenchyms und der Blasteme, ist, wie Sie wissen, die *typische Konstruktion der Art*, wie sie der Vater und die Mutter des betreffenden Embryos besitzen und sich im Laufe ihrer eigenen Embryonalentwicklung auf gleiche Weise aufgebaut haben. Die Art des Bauens und damit das Gebäude sind ererbt, d. h. sie sind abhängig von der Beschaffenheit der Eizelle und des Spermiums, die bei der Befruchtung zusammentrafen. Wie das der Fall ist, wollen wir hier nicht erörtern, es genügt uns, zu wissen, daß der Apparat, der die erblichen Charaktere bestimmt, in jeder Zelle des Körpers vollständig anwesend ist.

Jetzt taucht aber sofort die Frage auf, was denn dieser Erbapparat, dieser Reiseführer für die Entwicklung, so können wir sagen, enthalte. *Was* steht in dem Führer darin und *wie* steht es darin?

Der Reiseführer kann die Route genau vorschreiben, jede Wendung, jede Schrittzahl usw. enthalten. Die zu erreichenden Ziele sind genau und vollständig angegeben. Für die Entwicklung würde das heißen, daß jeder Punkt der Konstruktion in seinen Koordinaten festgelegt sei, jede Konturkurve genau verzeichnet, jeder Abstand ausgerechnet und genau der Weg, wie das alles zu erreichen sei. Die einzelnen Zellen und Zellgruppen trennen sich ja auf ihren Wegen, vorn werden Arme, hinten Beine aus den Extremitätenanlagen entwickelt. Man könnte sich vorstellen, daß bei jedem solchen Scheideweg die nicht zutreffenden Routen gleichsam durchgestrichen würden, nach einem festgelegten Schema, so daß das Ganze fest und starr abrollt und

jedes unweigerlich an seine vorbestimmte Stelle kommt.

Von ähnlichen Vorstellungen ist die Entwicklungsmechanik ausgegangen.

Die Vererbungslehre zeigt aber etwas ganz anderes. Die den Mendelschen Gesetzen folgenden Gene oder Faktoren oder Erbeinheiten entsprechen keineswegs anatomischen Einheiten, auch wenn man diese nach konstruktiv-physiologischen Gesichtspunkten abgrenzt. Eine oder sehr wenige Erbeinheiten können konstruktive, anatomische Mannigfaltigkeiten bestimmen. Das zeigt z. B. eine Hühnerrasse, das schwanzlose Kaulhuhn, das bei der Kreuzung mit anderen geschwänzten Rassen, diese Eigenschaft „Schwanzlosigkeit" als durch einen mendelnden Faktor bedingt zeigt. Dabei ist aber nicht ein einfacher Defekt vorhanden, sondern das ganze Rumpfende ist anders gebaut, da vor allem die den Anus umgebende Muskulatur Beziehungen zum Schwanzskelett hat[4]). Man kann sagen, soweit wir in den Aufbau der Erbkonstitution bei Tieren und Pflanzen Einblick haben, so gehen anatomisch-konstruktive Einheit und Erbeinheit einander nicht parallel, noch viel weniger ist die Erbkonstitution ein Modell des fertigen Körpers. Jede anatomische Einheit hängt von mehreren Erbeinheiten ab und jede Erbeinheit wirkt bestimmend auf mehrere anatomische Einheiten ein.

Wir werden alsbald versuchen, ein Bild davon zu entwerfen, wie wir uns den Zusammenhang zwischen dem Ererbten, der Erbkonstitution, und dem funktionsbereiten Körper zu denken haben. Aus dem angeführten Fall können wir einstweilen nur entnehmen, daß *Erbeinheit und Konstruktionselement nicht zusammenfallen.*

Um die Formbildungsvorgänge völlig zu verstehen, müssen wir ein wenig ausholen. Wir müssen kurz die Lehre vom *harmonisch äquipotentiellen System* entwickeln.

Wir denken uns ein ganz einfaches Tier, einen Hydroidpolypen. Diese Tiere zeichnen sich durch ein großes Regenerationsvermögen aus. Zerschneiden wir einen Polypen, so regenerieren sich beide Teile zu einem ganzen Tier. Wir machen jetzt drei verschiedene Zerschneideexperimente (Fig. 5).

Was aus einem Stück bei den der Zerschneidung folgenden Formbildungsvorgängen wird, hängt also ganz von der Lage ab, die es im regenerierenden Stück hat. *„Jedes kann jedes."* Harmonisch äquipotentielle Systeme spielen nun in der Entwicklung eine bedeutende Rolle. Sie ermöglichen das, was man die Anpassung, die Ausgleichung, die Regulation in der Entwicklung nennt. Die Teile des Körpers sind aufeinander abgestimmt, das wird selbst gegen erhebliche Störungen durchgeführt und aufrechterhalten. In solchen regulierenden Systemen sind die Teile nicht festgelegt auf eine bestimmte Marschroute, sondern das Schicksal, die „prospektive Bedeutung jedes Teiles ist eine Funktion seiner Lage im Ganzen" (*Driesch*). Die regulativen Fähigkeiten des Organismus sind dabei nicht etwas, das irgendwie bei besonderen Ereignissen hinzutritt, sondern sie sind überall bei den Vorgängen des Lebens und so auch bei der Formbildung am Werke.

Wir machen jetzt den allerdings etwas kühnen Versuch, eine Antwort auf unsere Frage zu geben: Wie macht der Körper das, sich einen mechanischen Apparat zu bauen?

Die Konstruktion im ganzen ist ererbt, aber sie ist nicht bis in alle Einzelheiten vorgeschrieben, sondern auf irgendeine andere Weise gegeben. Wir können uns das vielleicht an einem Vergleich klar zu machen versuchen. Denken wir uns Orchester und Bühnenpersonal, das eine Oper aufführen soll. Es liegen aber keine ausgeschrie-

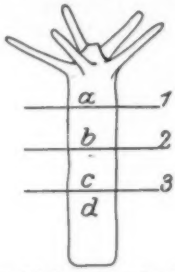

Fig. 5. Drei verschiedene Zerschneideexperimente an einem Süßwasserpolypen. (Im Anschluß an *Driesch's* Darstellung.)

Fall 1: Region *a* liefert Fuß, *b* Mund, *c* Tentakel, *d* unverändert.

Fall 2: Region *a* liefert nichts, *b* Fuß, *c* Mund, *d* Tentakel.

Fall 3: Region *a* liefert nichts, *b* nichts, *c* Fuß, *d* Mund, darunter Tentakel.

benen Stimmen für die Sänger und die Instrumente vor, sondern eine Art von unvollständigem Klavierauszug, in dem stellenweise vielleicht nur die Themen und Leitmotive stehen, stellenweise auch einmal gar nichts, wie bei den Koloraturpartien in einer italienischen Oper. Diesen etwas mangelhaften Auszug hat jeder Mitwirkende in der Hand, und nun geht die Sache ohne Probe und, was das Wichtigste ist, ohne Kapellmeister los. *Jeder muß sich also seine Stimme selber setzen, und das zum Teil erst, wenn sein Einsatz kommt.* Wir wollen den Vergleich nicht zu weit ausführen, es genügt hinzuzufügen, daß die Ausführung auch dann noch keine nennenswerte Stockung erfährt, wenn ein Sänger indisponiert wird oder ein Musiker ausfällt.

Es hat also jede Zelle und so jedes Blastem die ererbte Struktur bei sich, aber die Teile stehen in Verbindung und *viele Schritte werden erst im Augenblick des Schreitens bestimmt.* Im

[4]) Nach *Du Toit*, in Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaften, 1913, N. F. Bd. 42.

einzelnen gibt es da mannigfache und interessante Variationen; Variationen auch derart, daß eine größere Bindung der Teile an einen einmal eingeschlagenen Weg vorhanden ist, und größere Teile des Weges vorausbestimmt werden. Das Prinzip des harmonisch äquipotentiellen Systems kommt jedoch immer wieder zum Durchbruch. Nur so ist Anpassung der Teile, Regulation, Regeneration möglich.

Ein Festhalten an einem einmal eingeschlagenen Weg kommt nun in der Hauptsache in der Weise vor, daß ein Teil nicht dauernd des Anstoßes von außen bedarf, um irgendeine formbildende Leistung zu vollführen. Einen solchen Fall nennen wir Selbstdifferenzierung des Teiles.

Die Augenanlage in der noch offenen Medullarplatte zeigt Selbstentwicklung, transplantiert liefert sie ein Auge. Für die Beinknospe gilt dasselbe. Auch sie liefert am fremden Ort ein Bein. Und doch sind beide in sich regulierende Systeme vom Charakter des harmonisch äquipotentiellen Systems. Für die Augenanlage geht das aus den experimentellen Ergebnissen, auf die einzugehen der Raum leider nicht zu Gebote steht, hervor, für die Beinknospe ist es von *Braus*, neuerdings von *Harrison* und *Detwiler* ausdrücklich nachgewiesen. Ein regulierendes System hat sich also in einem Keim, der vorher ebenfalls ein solches war, selbständig gemacht. Es ist eine solche Aufteilung nach regulierenden Systemen mit immer kleinerer formbildender Aufgabe wohl überhaupt der Weg, nach dem die Entwicklung abläuft. Dennoch brauchen die so selbständig gewordenen, selbstdifferenzierenden Systeme nicht allen regulativen Verkehr untereinander abgebrochen zu haben.

Man kann hier vielleicht an einen Vorgang aus der Technik denken, aus der Fabrikation optischer Systeme für das Mikroskop. Jede Linse wird für sich hergestellt, ebenso die Fassung. Es bleibt jedoch *eine* Größe offen, nämlich ein Linsenabstand. Dieser wird erst bei der endgültigen Fertigstellung des Systems festgelegt. Dadurch wird das System einreguliert. *Ein* Bestimmungsstück, *ein* Parameter, ist also bei der Fabrikation offen gelassen. Tatsächlich passen sich auch im Körper des Erwachsenen die Organe aneinander, zumal wenn durch eine Störung eine neue Konstruktionsaufgabe durch Umbau zu lösen ist. Ein Organ kann in sich selbständig sein, jedoch sind eine Reihe offener Bestimmungsstücke da, deren Vorhandensein eben die Harmonie des Ganzen verbürgt. Dies alles sind Vermutungen, keine fertigen Lösungen. Da wir uns aber von vornherein auf das Problematische des ganzen Fragenkomplexes eingestellt hatten, so kann ich mich darauf berufen, daß hier die Forschung erst in den Anfängen steht.

Sie sehen, der Körper wird verhältnismäßig frei aufgebaut. Das Resultat ist dementsprechend. Es gibt keine zwei gleichen menschlichen Anatomien. Und doch wird mit großer Zähigkeit, aber immer auf in gewisser Weise individuell selbständige Art, ein typisches, konstruktives, organisatorisches Ziel erreicht. Das macht auch die wiederholte praktische Beschäftigung mit der Anatomie des Menschen immer wieder in gewisser Weise reizvoll. Es ist etwas Ähnliches, wie mit der Betrachtung kunstgewerblicher handwerklicher Erzeugnisse; auch diese haben immer einen eigenen Reiz, der den Schablonenerzeugnissen der Fabrik abgeht. Wir können vielleicht unsere Frage darnach, wie der Körper seine Konstruktionsaufgabe löse, dahin beantworten: Was die letzten tragenden Einzelheiten angeht, durch die der konstruktive Gedanke erst wirklich, lebendig, tüchtig, leistungsfähig wird, ohne die der schönste Gedanke in der Praxis jämmerlich versagt, *so löst der Körper seine Aufgabe selbst und auf seine individuelle Weise.*

Wir haben bisher die Erörterung eines Problems umgangen, das gerade beim mechanischen Apparat von Bedeutung ist. Es ist dies das Problem des unmittelbaren Verhältnisses von Form und Art und Verteilung der angreifenden Kräfte zueinander. Das ganze Leben, so kann man sagen, modelt die Funktion am mechanischen Apparat, und wenn eine Verletzung, ein Knochenbruch, neue Bedingungen schafft, so wird gerade unter dem Einfluß der Funktion ein Erhebliches an Formbildung geleistet. Ich erinnere nur an den Verlauf der Knochenspongiosa im schief geheilten Bruch, die sich den neuen Belastungsformen angepaßt hat.

Es muß dabei aber zunächst eins festgestellt werden. Die Belastung, die angreifenden Kräfte, wirken nicht unmittelbar formgebend. Es wird kein Knochen im Körper durch die Belastung zu einer konstruktiv wertvollen Lage gebogen, kein Band zurechtgezogen usw. Wirkt die Belastung einmal doch unmittelbar formgebend, und das tut sie, wenn sie die Elastizitätsgrenze des Materials überschreitet, so bedeutet das immer eine Zerstörung, eine schwere Beeinträchtigung der Konstruktion. Ich nenne nur die Spontanfraktur bei seniler Knochenbrüchigkeit, Verbiegungen der Knochen bei Osteomalazie und Rhachitis, den Plattfuß und den Senkfuß, um sofort gegenwärtig sein zu lassen, was gemeint ist.

Die Sache ist vielmehr folgende. Wenn die an der Konstruktion angreifenden Kräfte das Material der Konstruktionselemente nicht über die Elastizitätsgrenze belasten, so wirken sie *dennoch* auf das lebende Material, und zwar *als Reiz.* Entspricht die Kräfteverteilung, der Verlauf der Spannungen, der Konstruktion, so wirkt das als *erhaltender Reiz.* Sie wissen, ruhig gestellte mechanische Apparate des Tierkörpers erleiden Veränderungen in degenerativem Sinne. Entspricht die Belastung *nicht* der Konstruktion, so reizt sie zum Umbau, *so,* daß Belastungen und Aufbau in ein eindeutiges Verhältnis zueinander kommen. Die Belastung ist ein formerhaltender oder formbildender Reiz. Änderung der typischen Be-

lastung bewirkt Umbau der Konstruktion. Im ganzen fällt das nicht aus dem Rahmen der regenerierenden und regulierenden Prozesse heraus, nur daß hier Einflüsse auf das formbildende System wirksam sind, die nicht in ihm oder in Nachbarsystemen entstehen, sondern von außen kommen. Tatsache ist aber, daß der embryonale Körper den mechanischen Apparat ohne jede Funktion fertig stellen kann. Die Belastung kann erst wirken, wenn ein Apparat da ist, an dem sie angreifen kann, ohne ihn zu zerstören. Jede Froschlarve, die ihre Vorderbeine unter dem Operkulum verborgen fertig ausbildet, wo sie in starrer Beugestellung bewegungslos verharren, die auch gar nicht daran denkt, ihre Hinterbeine zum Schwimmen zu gebrauchen, wenn diese auch schon weit entwickelt sind, beweist das. Der embryonale Körper ist sehr wohl imstande, von sich aus, durch Vererbung und innere Regulation harmonisch-äquipotentieller Systeme, seine Knochen, Bänder und Gelenke in arttypischer Weise und leistungsfähigem Zustand zu produzieren.

Das Resultat dieser ganzen formbildenden Leistungen ist zweckmäßig. Was heißt das? Wir müssen nach einem objektiven Maßstab der Zweckmäßigkeit suchen. Ich glaube, man kann das so formulieren: Zweckmäßig nennen wir etwas dann, wenn es einer Maximum-Minimum-Bedingung genügt. Ein Apparat ist z. B. dann im Vergleich mit anderen der zweckmäßigste, wenn er bei einem Minimum an aufgewandtem Brennstoff ein Maximum an Arbeit leistet. Das ist eine Beziehung, die sich ohne weiteres auf tierische Knochen-Muskel-Maschine anwenden läßt. Eine zweckmäßige Einrichtung ist z. B. ein Gesperre (Fig. 1). Wir hatten ein solches kennen gelernt, nämlich die Verankerung der Patella auf dem medialen Condylus des Femurs beim Pferde. Die Last des Hinterkörpers wird beim Stehen nicht durch einen dauernd in Spannung gehaltenen Muskel, sondern durch das Gesperre getragen. Der Muskel wird einmal stark angespannt, dann schnappt das Gesperre ein, und ein geringer Muskelzug ist imstande, es festzuhalten. So etwas nennen wir zweckmäßig.

Wir wollen die Angelegenheit an einer graphischen Darstellung etwas näher beleuchten. Wir vereinfachen den zu betrachtenden Fall auf das möglichste, denn es kommt uns nur auf das Prinzip der Sache an (Fig. 6—8).

Denken wir uns ein Tier, dem wir ein Paar Sprungbeine anmessen sollen. Das Tier habe eine bestimmte Größe, der Körper hat dann die Masse M. Wir haben sie uns im Schwerpunkt S wirksam zu denken. Sie soll zunächst als konstant gelten.

Wir setzen nun an den Körper ein Paar Beine an, die in der Ruhelage, beim Sitzen des Tieres, in der bekannten Weise winklig geknickt sind (Fig. 6, ausgezeichnete Linie). Wenn das Tier nun einen Sprung macht, so streckt es mit großer Gewalt die Beine und kommt zum Schluß dieses

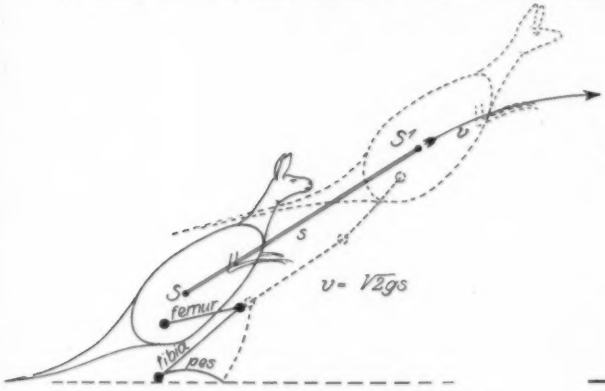

Fig. 6. Mechanische Analyse eines Springtieres.

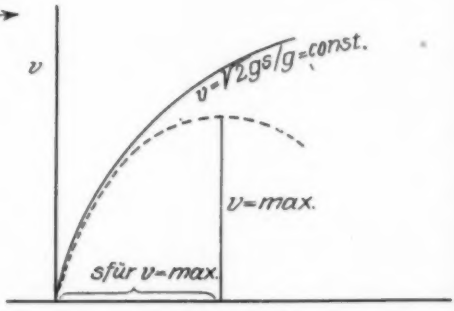

Fig. 7.

Vorganges in die punktiert gezeichnete Lage. Von diesem Moment an beginnt der eigentliche Sprung, das Tier verläßt auch mit der Fußspitze den Erdboden.

Den Vorgang bis zu diesem Augenblick nennen wir den Absprung, und der Weg, den der Schwerpunkt macht von der Ruhelage bis zum eigentlichen Sprungbeginn, den Absprungsweg $S - S' = s$. Das mechanische Problem ist nun ganz ähnlich wie das beim Schuß, etwa aus einer Kanone. Maßgebend für die Weite des Schusses ist ceteris paribus die *Mündungsgeschwindigkeit*. Diese wird dadurch erzielt, daß im Rohr die Pulvergase auf das Geschoß wirken, ihm eine Beschleunigung erteilen, so daß es beim Aufhören des Gasdrucks, beim Verlassen der Mündung, die Geschwindigkeit v hat, eben die Mündungsgeschwindigkeit. Bei gleichbleibender Beschleunigung g ist v um so größer, je länger das Rohr ist, daher die langen Rohre der weittragenden Geschütze.

Auf unseren Tierkörper wirken die Muskeln des Beines und erteilen ihm eine Beschleunigung, g, auf dem Wege, s. Nach der Gleichung der elementaren Mechanik ist $v = \sqrt{2\,g\,s}$. Diese Gleichung stellt bekanntlich die *Scheitelgleichung einer Parabel* dar, wobei s oder g als Abszisse, bzw. $2\,g$ oder $2\,s$ als Parameter wählen können. Wir betrachten zunächst die Beschleunigung, die Muskelkraft, die einwirkende Muskulatur als *konstant* (Fig. 7). s ist unmittelbar abhängig von der Länge der Beine, wir setzen s gleich der Beinlänge. Dann drückt die Parabel $v = \sqrt{2\,g\,s}$ die Abhängigkeit der Absprungsgeschwindigkeit von der Beinlänge aus; je länger die Beine, desto weiter der Sprung.

Je *länger* wir nun aber die Beine machen, desto *schwerer* werden sie auch, und zwar wächst die Masse der Beine (μ) im Kubus der Beinlänge, $\mu = s^3$! Nun lautet die Grundgleichung der Mechanik: Kraft gleich Masse mal Beschleunigung, $g = \frac{K}{M+\mu}$, die *Masse steht im Nenner*. Je länger wir also s machen, desto kleiner wird g, weil eine

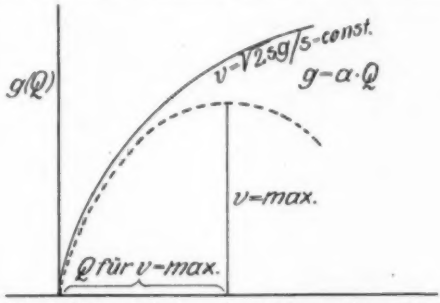

Fig. 8. (Die Ordinate muß v heißen, nicht $g(Q)$.)

größere Masse zu bewegen ist. Wir müssen also unsere Parabel umzeichnen, und da die Beinmasse sehr viel schneller wächst als s, so wird die durch die Beinverlängerung erzielte Geschwindigkeitszunahme bald überkompensiert, die Kurve senkt sich, wir erhalten eine Kurve mit einem Maximum. Damit haben wir die Beinlänge mit dem größten v gefunden (Fig. 7, s für $v = \max.$).

Diese setzen wir jetzt als Parameter (Fig. 8) ein und variieren g, die Beschleunigung. Wir machen das, indem wir den Muskelquerschnitt vergrößern, dann ist der Muskel mit dem n-fachen Querschnitt n-mal so schwer. $g = \frac{n\,Q}{M+n\mu}$, d. h. g wächst nicht proportional dem Querschnitt, sondern langsamer und wird auch durch die Gewichtszunahme überkompensiert, da die dickeren Muskeln stärkere Knochenvorsprünge und sonstige Hilfseinrichtungen brauchen. Wieder müssen wir die Parabel umzeichnen, wieder erhalten wir eine Kurve mit einem Maximum. So haben wir *eine* zweckmäßige Beinlänge und einen zweckmäßigen Muskelquerschnitt gefunden.

Wenn wir noch bedenken, daß wir die Masse des Beines, Länge und Muskelquerschnitt nicht beliebig vergrößern können, ohne auch den Körper zu vermehren, so wird unsere Ableitung noch eindrucksvoller, denn auch alle Organe, die das Bein ernähren helfen, müssen dessen Größe angemessen sein. Ich kann ein Paar Känguruhbeine nicht an einen Mausekörper hängen.

Immer ist, und das wollte ich an einem Sachbeispiel zeigen, *der zweckmäßige Fall als ein ausgezeichneter Punkt einer Funktionalbeziehung darstellbar*. Für jede andere Beinlänge und jeden anderen Muskelquerschnitt gibt es immer eine zweite, die *dieselbe* Geschwindigkeit zur Folge haben würde.

Das ist für allgemeine Gesichtspunkte von besonderem Interesse. Es ist bekannt, daß man die Gesetze der Physik als Maximum-Minimum-Ausdrücke formulieren kann. *Mach*[5]) hat auf diesen Sachverhalt besonders hingewiesen und *Petzold*[6]) hat von hier aus die Brücke zur Erkenntnistheorie geschlagen. Dieser Sachverhalt ist nämlich kein Zufall, sondern er fällt mit dem zusammen, was man die Eindeutigkeit des Geschehens in der Natur nennt: Maximum-Minimum-Verhältnis, Einzigartigkeit, Eindeutigkeit, Gesetzmäßigkeit sind in dieser Weise dasselbe. Das ist uns die Brücke zu einem anderen Gedanken. Sie wissen, das Problem der Zweckmäßigkeit macht der Biologie schwer zu schaffen. Sie wissen, daß *Darwin* seine berühmte Zuchtwahltheorie aufgestellt hat, um das Zweckmäßige zu erklären. Wäre es nun nicht vielleicht möglich, das Problem so zu sehen, daß das *Zweckmäßige eben deshalb zugleich das Wirkliche ist, weil es das Einzigartige, das Gesetzmäßige ist*? In dem zweckmäßigen Aufbau kommt eben auch das Gesetzmäßige im Werden der Einzelform und der Art zum Ausdruck. Der Begriff der Regulation läßt sich von hier aus auch vielleicht seines etwas mystischen Beigeschmacks entkleiden. Ich möchte diese Gedanken jedoch nicht weiter ausspinnen, sondern ich verschanze mich hinter einem Wort von *Goethe*, das er in ähnlicher Angelegenheit am 13. Februar 1829 zu *Eckermann* äußerte: „Wie dieses geschieht, ist geheimnisvoll, schwer auszusprechen, aber ich könnte sagen, daß ich darüber meine Gedanken habe."

Was uns an diesen Gedanken nun vor allem wichtig ist, ist dieses: daß sie uns dazu dienen können, *eine Brücke zu schlagen* von der Formbildungslehre und dem, was man die funktionelle Analyse oder Konstruktionsanalyse der tierischen Form nennen könnte, *zur vergleichenden Anatomie*.

Diese Brücke würde zunächst zu Gedanken hinführen, wie sie die ältere vergleichende Anatomie hegte. Diese suchte nach den Gesetzen der tierischen Organisation, nach Gesetzen, die für

[5]) Mechanik in ihrer geschichtl. Entwicklung.

[6]) Vgl. Einführung in die Philosophie der reinen Erfahrung *I*, S. 34 ff., Leipzig 1900.

die tierische Form überhaupt oder doch gruppenweise gelten. Für uns steht *Goethe* im Mittelpunkt dieser Gedankenwelt. Die tierische Form ist gesetzmäßig, einzigartig, ist ein Gleichgewichtszustand, denn alle Gleichgewichte sind durch Maximum-Minimum-Bedingungen charakterisiert. Der Gedanke eines solchen Gleichgewichts schwebte eben der älteren vergleichenden Anatomie vor. *Cuviers* Begriff der Korrelation ist nichts anderes, und auch Aussprüche *Goethes* deuten darauf hin. So steht in dem „Ersten Entwurf einer allgemeinen Einleitung in die vergleichende Anatomie, ausgehend von der Osteologie" aus dem Jahre 1795 im IV. Abschnitt Bei dieser Betrachtung tritt uns nun gleich das Gesetz entgegen, daß keinem Teil etwas zugelegt werden könne, ohne daß einem anderen etwas abgezogen werde und umgekehrt."

Vielleicht werden wir oder spätere solche Gesetze der Organisation in ganz anderen Beziehungen suchen und finden als jene älteren, aber der Gedanke ist derselbe.

Der neueren vergleichenden Anatomie stand das Problem einer *Geschichte der Tierwelt* und der tierischen Organisation im Vordergrund. Sie glaubte es, durch reine Vergleichung lösen zu können ohne Kenntnis jener von den Älteren gesuchten Gesetze, ohne Kenntnis der Wege und Methoden, nach denen die Form jedesmal im Einzelfalle neu wird, noch auch dessen, was man die Gesetze der Vererbung nennt. Dieser Weg ist zunächst als ungangbar größtenteils aufgegeben worden. Es wäre aber verfehlt, wenn wir das viele, bleibend Wertvolle, das dabei zutage kam, im Stiche ließen, deshalb, weil wir eingesehen haben, daß auf ihm dem Geschichtsproblem fürs erste nicht näher zu kommen ist.

Auch in der neueren vergleichenden Anatomie scheint mir ein Punkt zu sein, an dem sich auch für die im vorstehenden entwickelten Gedanken Anknüpfungen bieten. Es ist das das Lebenswerk *Max Fürbringers.*

Fürbringer suchte den Gedanken der *vollständigen Vergleichung* in seinen Studien durchzuführen. Man muß nicht, so war sein Gedanke, nur hier und da eine interessante Form für die Untersuchung herauspicken, sondern alles Erreichbare muß durchuntersucht werden, nicht nur an Arten, sondern auch Variationsart und Breite der einzelnen Organisationen muß festgestellt werden. So erhält man einen Überblick über den Formenschatz, der auf der Erde verwirklicht ist.

Sie merken, von diesem Gedanken aus ist der Weg zu dem von der tierischen Form als einer Gleichgewichtsform nicht weit. Es hat wenig Zweck, diesen Vollständigkeitsgedanken zu betätigen, wenn die tierische Organisation eine stetig unendliche Mannigfaltigkeit ist. Dann ist das eine Sisyphusarbeit. Wenn das tatsächlich Wirkliche aber immer ein ausgezeichneter Fall ist, jede tierische Form nicht nur durch geschichtliche Zufälligkeiten, sondern durch eine Eigengesetzlichkeit bedingt ist, dann erhält die Form den Wert eines experimentellen Ergebnisses. Kann ich das Experiment selbst nicht eigentlich kontrollieren, so kann ich doch gleichsam statistisch verfahren und an dem, was vorhanden ist, an konkreten Formen, diese Gesetzlichkeit durchschimmern sehen. So wird dann die experimentelle Forschung ergänzt, ja ihr eigentlich erst das Material und die Probleme geliefert.

Gerade für solche Gedanken scheint mir der mechanische Apparat der geeignete Angriffspunkt zu sein. Wir vermögen hier die Form an einer unserem Verständnis durchaus zugänglichen Leistung zu verstehen und zu würdigen. Dies scheint mir einen besonderen Anreiz zu geben, sich zu befassen mit dem, was ich als Skelettprobleme in diesem Aufsatz auseinanderzusetzen versucht habe.

Der Streit um das Elektron.

Von R. Bär, Zürich.

(Schluß.)

II. Die neuen Untersuchungen.

§ 6. *Relative Atomistik.* Bei dieser Sachlage war es das Gegebene, sich vorerst zu bescheiden und zu sehen, was sich mit Hilfe der Ehrenhaft-Millikanschen Versuchsanordnung, die ja, wie wir sahen, eine Wage mit 10^7mal größerer Empfindlichkeit darstellt als die feinste chemische Wage, noch über die Elektrizität aussagen läßt, wenn man alle zweifelhaften Annahmen über Gestalt und Dichte der Teilchen und über das Widerstandsgesetz ganz beiseite läßt. In der Tat läßt sich auch noch unter diesen einschränkenden Voraussetzungen entscheiden, ob die Elektrizität überhaupt eine atomistische Struktur besitzt oder nicht, während der eventuelle Absolutwert des elektrischen Elementarquantums dann nicht mehr ermittelt werden kann. Daß dies wirklich der Fall ist, zeigt folgende Überlegung: Wir denken uns ein elektrisch geladenes Teilchen (Ladung $= e$) in unserem Kondensator dadurch freischwebend gehalten, daß wir die Schwerkraft $m\,g$, die das Teilchen nach unten zieht, gerade kompensieren durch eine gleich starke, aber nach oben gerichtete elektrische Kraft $e\,\mathfrak{E}$, die wir erzeugen, indem wir eine entsprechende Potentialdifferenz an die Kondensatorplatten anlegen. Es gilt dann also:

$$m\,g = e\,\mathfrak{E} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7$$

Wir wollen nun voraussetzen, daß die Elektrizität quantenhaft konstruiert sei und aus Atomen mit der Ladung $+\varepsilon$ und $-\varepsilon$ bestehe. Dann können nur Elektrizitätsmengen von der Größe $\pm\, n\,\varepsilon$ ($n =$ ganze Zahl) in der Natur vorkommen. Wenn also unser in der Luft freischwebendes Partikel mehrfach umgeladen wird und dabei hintereinander eine Reihe verschiedener Elektrizitätsmengen e_1, e_2, e_3, ... trägt, die zufolge

unserer Annahme Vielfache n_1, n_2, n_3, ... der Elementarladung sein müssen:

$e_1 = n_1 \varepsilon$; $e_2 = n_2 \varepsilon$; $e_3 = n_3 \varepsilon$ ... (n_i = ganze Zahl) (8

so folgt aus (7):

$$m g = \varepsilon n_1 \mathfrak{E}_1 = \varepsilon n_2 \mathfrak{E}_2 = \varepsilon n_3 \mathfrak{E}_3 = \ldots . \quad (9$$

wobei $\mathfrak{E}_1$, $\mathfrak{E}_2$, $\mathfrak{E}_3$, ... diejenigen elektrischen Feldstärken bedeuten, bei denen das Teilchen, wenn es die Ladungen e_1, e_2, e_3 ... trägt, gerade schwebt, d. h. keine Fall- oder Steigbewegung zeigt. Aus (9) folgt wegen $\mathfrak{E} = \frac{V}{300\,d}$, wo V die in Volt gemessene, an die Kondensatorplatten (Plattenabstand = d cm) angelegte Potentialdifferenz bedeutet,

$$V_1 : V_2 : V_3 \ldots = \frac{1}{n_1} : \frac{1}{n_2} : \frac{1}{n_3} : \ldots . \quad (10$$

($n_1, n_2, n_3, \ldots .$ = ganze Zahl)

als theoretisch notwendige und hinreichende Bedingung dafür, daß die Elektrizität eine atomistische Struktur besitzt. Nun lassen sich aber die Verhältnisse beliebiger Zahlen immer in dieser Form darstellen, z. B. $47{,}0 : 71{,}1 = \frac{1}{711} : \frac{1}{470}$. Es würde daher niemand einfallen, wenn gefunden würde, daß zwei Haltepotentiale eines Teilchens 47,0 Volt und 71,1 Volt betragen, hierin einen Beweis der atomistischen Struktur der Elektrizität zu erblicken. Dagegen verhalten sich die Zahlen $47{,}5 : 71{,}1 = {}^1/_3 : {}^1/_2$, und man würde also das Versuchsresultat $V_1 = 47{,}5$ Volt, $V_2 = 71{,}1$ Volt als einen Beweis der quantenhaften Konstitution ansprechen dürfen. Man sieht: solche Experimente haben eine um so größere Beweiskraft, je kleiner die ganzen Zahlen sind, mit denen man die Verhältnisse der Haltepotentiale darstellen kann. Kleine Zahlen n_i bedeuten aber, daß auf dem Teilchen nur wenige elektrische Elementarquanten sitzen. Wir können also nur dann hoffen, experimentell kleine ganze Zahlen n_i zu erhalten, wenn wir die kleinsten Ladungen, die wir dem Teilchen erteilen können, beobachten.

Ein weiterer Punkt bleibt zu berücksichtigen. Die Messungen der Haltepotentiale werden immer mit Meßfehlern behaftet sein, als deren hauptsächlichste die Brownsche Bewegung der Partikeln — die eine Bewegung eines Teilchens nach oben oder unten vortäuschen kann, wenn die elektrische Kraft genau gleich der Schwere ist — und die Fehler bei der Ablesung des Haltepotentials am Voltmeter in Betracht kommen. Namentlich der erstere dieser beiden Fehler ist experimentell nicht so leicht zu berücksichtigen. Nun hatten sowohl *Joffé* (1) als auch *Meyer* und *Gerlach* (2) schon im Jahre 1913 Versuche von der Art der hier beschriebenen angestellt, aus denen man in der Tat folgern durfte, daß die Elektrizität aus Atomen bestehe. Da aber bei diesen Versuchen erstens die ganzen Zahlen nicht immer hinreichend klein und zweitens die Meßfehler nicht immer genau bestimmt waren, so durfte *Ehrenhaft* mit einiger Berechtigung erklären, daß diese Experimente nicht beweisend seien.

Um auch noch ein Maß für die Genauigkeit der Messung zu erhalten, modifizierten *Ehrenhaft* und *Konstantinowsky* die Methode derart, daß sie, statt das Haltepotential V_i, bei welchem das Teilchen die Ladung e_i hat, selbst zu bestimmen, dasselbe *einengten* zwischen einen zu kleinen Wert $\underline{V_i}$, bei dem das Teilchen gerade noch eine deutliche Fallbewegung zeigte, und einen zu großen Wert $\overline{V_i}$, bei welchem das Teilchen schon deutlich stieg. Da $\frac{n_i V_i \varepsilon}{300\,d} = m g$ oder $n_i V_i = 300\,d \frac{m g}{\varepsilon}$ ist, und da ferner $\underline{V_i} < V_i < \overline{V_i}$, so muß in diesem Falle jedes der sämtlichen Produkte $n_i \underline{V_i}$ kleiner sein als jedes der Produkte $n_i \overline{V_i}$:

$$n_i \underline{V_i} < n_k \overline{V_k} \quad (i, k = 1, 2, \ldots, m) \quad (11$$

der wirkliche Wert von $n_i V_i$ muß also größer sein als die größte Zahl $\underline{C}$ aller $n_i \underline{V_i}$ und kleiner als die kleinste Zahl $\overline{C}$ aller $n_i \overline{V_i}$. Man kann also etwa $n_i V_i = \frac{\underline{C} + \overline{C}}{2}$ setzen und berechnet dann für das Haltepotential V_i einen Wert

$$V_{i\ \text{berechnet}} = \frac{1}{n_i} \frac{\underline{C} + \overline{C}}{2}$$

der zwischen $\underline{V_i}$ und $\overline{V_i}$ liegen muß.

Damit haben wir folgende Prüfungsmöglichkeit für das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein einer atomistischen Konstitution der Elektrizität: Wir erteilen einem Teilchen hintereinander eine größere Zahl verschiedener elektrischer Ladungen, die alle möglichst klein sein sollen und bestimmen die zugehörigen Werte $\underline{V_i}$ und $\overline{V_i}$. Die Elektrizität ist nun dann und nur dann quantenhaft konstruiert, wenn sich jetzt solche kleinen ganzen Zahlen n_i finden lassen, daß alle Ungleichungen (11) erfüllt sind; und solche Messungen haben eine um so größere Beweiskraft, je enger die Grenzen $\underline{V_i}$ und $\overline{V_i}$ für V_i bestimmt sind und je größer die Anzahl der Ladungen ist, die gemessen wurden.

Der Verf. hat im Jahre 1918 auf Veranlassung von Prof. *Edgar Meyer* in Zürich derartige Versuche ausgeführt (3). In Tabelle 1 findet sich als Beispiel das Ergebnis einer solchen Messung an einem Aluminiumpartikel, an welchem 24 Ladungen gemessen wurden.

Man wird zugeben müssen, daß diese Tabelle einen *zwingenden Beweis für die atomistische Struktur der Elektrizität darstellt.* Da das Teilchen durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht aufgeladen, wobei ihm also negative Elektrizität entzogen wurde, und durch Ionisierung der Luft jeweils wieder entladen wurde, wobei es also positive Elektrizität, die aus der Luft stammte,

Tabelle 1.
Aluminiumpartikel Nr. 59.
$\underline{C} = 1950$, $\overline{C} = 1964$, $n_i V_i = 1957$.

$\underline{V_i}$	$\overline{V_i}$	n_i	$n_i \underline{V_i}$	$n_i \overline{V_i}$	V_i berechnet
650	655	3	1950	1965	652
377	395	5	1885	1975	391
275	284	7	1925	1988	279
385	395	5	1925	1975	391
478	495	4	1912	1980	489
650	655	3	1950	1965	652
972	982	2	1944	1964	978_5
641	655	3	1923	1965	652
485	497	4	1940	1988	489
389	395	5	1945	1975	391
275	281	7	1925	1967	279_5
322	330	6	1932	1980	326
978_5[1])	978_5[1])	2			978_5
641	656	3	1923	1968	652
485	509	4	1940	2036	489
378	395	5	1890	1975	391
272	281	7	1904	1967	279
320	330	6	1920	1980	326
480	499	4	1920	1996	489
645	672	3	1935	2016	652
942	990	2	1884	1980	978_5
645	665	3	1935	1995	652
275	285	7	1925	1995	279
77	79	25	1925	1975	78

aufnahm, beweisen diese Messungen gleichzeitig, daß das elektrische Elementarquantum dasselbe ist, ob die Elektrizität nun aus der Luft oder aus dem Aluminium stammt. Die Herren *Ehrenhaft* und *Konstantinowsky* (4) haben zwar gegen diese Versuche Einwendungen erhoben, aber der Verf. (5) (8) mußte dieselben als in jeder Beziehung vollkommen unbegründet zurückweisen. Wir halten *damit die Frage nach der Konstitution der Elektrizität für erledigt* und wenden uns jetzt zur zweiten wichtigeren Frage nach der absoluten Größe des elektrischen Elementarquantums.

§ 7. *Das Widerstandsgesetz.* Es handelt sich nun darum, den Widerspruch zwischen den Millikanschen und den Ehrenhaftschen Versuchsergebnissen aufzuklären; zu diesem Zwecke müssen wir untersuchen, ob die von *Ehrenhaft* bei der Ladungsmessung zugrunde gelegten, im § 2 genannten[2]) Voraussetzungen 1.—3. auch wirklich zutreffen. Unsere auf Nr. 3, d. h. auf das Widerstandsgesetz bezüglichen Ausführungen können wir kurz fassen. Wir sind nämlich der Ansicht, daß das von *Ehrenhaft* verwendete Fallgesetz wenigstens angenähert richtig ist, und wir wollen diese Ansicht nur im Hinblick darauf, daß man öfters gerade das Widerstandsgesetz für die Subelektronen verantwortlich gemacht hat, kurz begründen. Es handelt sich also darum, die Formel (4) zu rechtfertigen.

Für die langsame, stationäre Bewegung einer Kugel in einer Flüssigkeit gilt unter gewissen einschränkenden Voraussetzungen die sogenannte Stokessche Formel, nach welcher $B = \frac{1}{6\pi\mu a}$ wird. Von diesen Voraussetzungen sind in unserm Fall alle erfüllt bis auf eine, die besagt, daß die Diskontinuitäten, die in der Flüssigkeit vorhanden sind, weil dieselbe aus Atomen besteht, als unendlich klein gegenüber der Größe des Kugelradius vernachlässigt werden dürfen. In unserm Fall nämlich, wo sich die Kugel nicht in einer Flüssigkeit, sondern in einem Gase bewegt, wird diese Voraussetzung nicht mehr erfüllt sein. Ein Maß für die Größe der Diskontinuitäten im Gase gibt die freie Weglänge l der Gasmoleküle, und das Verhältnis l/a zeigt (der Radius des kugelförmigen Partikels), mit welcher Annäherung die Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Stokesschen Formel erfüllt ist. Da für Luft von Atmosphärendruck $l = 1 \cdot 10^{-5}$ cm ist, und da die zur Messung gelangenden Partikeln einen Radius haben, der auch ungefähr von dieser Größenordnung ist, so ist in der Tat l/a nicht verschwindend klein, und daher muß die Stokessche Formel durch Anbringen eines Korrektionsgliedes $A\,l/a$, dem ersten Glied einer Reihenentwicklung

$$A\frac{l}{a} + A'\left(\frac{l}{a}\right)^2 + \ldots \quad \ldots \quad (12$$

modifiziert werden in

$$B = \frac{1 + A\frac{l}{a}}{6\pi\mu a}$$

Dieses nur ungenau bekannte Glied $A\,l/a$ spielt nun, weil a im Nenner vorkommt, eine um so größere Rolle bei den Ladungsmessungen, je kleiner der Teilchenradius ist. Während es bei den Millikanschen Experimenten wirklich nur als Korrektionsglied in Betracht kommt, ist sein Einfluß bei den Ehrenhaftschen Teilchen sehr wesentlich. Es wäre daher von vornherein durchaus möglich gewesen, daß große Fehler in der Ladungsmessung dadurch entstehen, daß *Ehrenhaft* die weiteren Glieder in der Reihenentwicklung (12) vernachlässigt. Nun zeigen aber eine Reihe von experimentellen Arbeiten, insbesondere die Versuche von *M. Knudsen* und *S. Weber* (6), daß mit zunehmendem l/a zwar höhere Potenzen von l/a in Betracht kommen, aber in so geringem Maße, daß sie auch für sehr großes l/a nur eine

[1]) Haltepotential, Teilchen war während 30 Minuten in Ruhe.

[2]) 1. Die Partikeln sind kugelförmig.
2. Ihre Dichte ist diejenige des kompakten Materials, aus dem sie hergestellt wurden.
3. Für die Bewegung der Partikeln im Erdschwerefeld und im elektrischen Feld gelten die Gleichungen (2), (3) und (4)

$$m\,g \cdot B = v_1, \quad \ldots \quad (2$$

$$(e\,\mathfrak{E} - m\,g)\,B = v_2 \quad \ldots \quad (3$$

$$B = \frac{1 + A\frac{l}{a}}{6\pi\mu a} \quad \ldots \quad (4$$

etwa 50proz. Vergrößerung der Konstante A bewirken. Ferner hat der Verf. (7) das Widerstandsgesetz dadurch experimentell geprüft, daß er die Fallgeschwindigkeit desselben submikroskopischen Partikels bei verschiedenen Luftdrucken maß, indem er die Luft allmählich aus dem Kondensator wegpumpte. Dann wird die freie Weglänge l immer größer, und es fällt das Glied $A\,l/a$ immer mehr ins Gewicht. Auch dabei zeigte sich wieder, daß der Faktor A sehr angenähert konstant bleibt, und erst verfeinerte Messungen (8) ergaben eine kleine Zunahme von A mit wachsendem l/a. Was schließlich den numerischen Wert der Konstanten A anlangt, so folgt aus einer ganzen Reihe experimenteller Arbeiten, daß er zwischen 0,7 und 1,7 liegen muß.

Für sehr kleine l/a kann man das Widerstandsgesetz auch theoretisch ableiten, und es haben sich auch auf diesem Wege für A Werte ergeben, die recht gut mit den experimentell ermittelten übereinstimmen. Für mittelgroße Werte von l/a, die dem Experiment noch gut zugänglich sind, hat sich das Problem bisher mathematisch nicht lösen lassen, dagegen existieren für sehr große l/a, d. h. für Partikeln, die auch noch klein sind im Verhältnis zu den von *Ehrenhaft* verwendeten, wiederum theoretische Formeln, die namentlich von *Lenard* schon vor längerer Zeit gefunden wurden, und die neuerdings (9) von ihm durch verfeinerte Rechnung bestätigt werden. Dabei zeigt sich, daß die Formel (4) für sehr große l/a kontinuierlich in die Lenardsche übergeht, d. h., daß auch theoretisch der Faktor A für sehr große l/a ungefähr denselben Wert haben muß wie für kleine Werte. Man sieht, daß das Widerstandsgesetz tatsächlich annähernd bekannt ist. Ladungsunterschreitungen bis herab zu vielleicht 50 % der Elektronenladung können evtl. noch durch die nur ungenaue Kenntnis der Konstanten A erklärt werden, aber im Ehrenhaftschen Institute sind, wie erwähnt, von Frl. *Parankiewicz* Ladungen bis herab zu $3 \cdot 10^{-13}$ elst. E. gefunden worden.

Alle diese Überlegungen weisen darauf hin, *daß das Widerstandsgesetz für das Auftreten der Subelektronen nicht verantwortlich* gemacht werden darf. Im letzten Jahre ist diese sehr wahrscheinliche Vermutung nun durch Versuche, die Herr *K. Wolter* (10) angestellt hat, zur Gewißheit geworden. Herr *Wolter* ging von folgender Überlegung aus: Der einzig unsichere Teil im Widerstandsgesetz ist die Reihenentwicklung (12). Bei den Millikanschen Versuchen ist ihr Einfluß nur gering wegen des großen Radius der verwendeten Partikeln. Diesen Einfluß kann man aber ebensogut dadurch verkleinern, daß man die freie Weglänge l klein macht, d. h., da l umgekehrt proportional dem Gasdruck ist, daß man die Ladungsmessungen in einem komprimierten Gase ausführt. Beobachtet man also z. B. ein Ehrenhaftsches Teilchen von etwa $5 \cdot 10$ cm Radius bei 9 Atmosphären Luftdruck, so ist der Fehler, den das Widerstandsgesetz in die Ladungsmessung hineinträgt, derselbe wie bei einem Teilchen von $4{,}5 \cdot 10^{-5}$ cm Radius, das bei normalem Druck untersucht wird. Bei Teilchen dieser Größenordnung konnten aber große Ladungsunterschreitungen nie gefunden werden, sie dürfen also, wenn der Fehler in der Ladungsmessung am Widerstandsgesetz liegt, bei einem Teilchen von $5 \cdot 10^{-6}$ cm Radius auch bei 9 Atmosphären Luftdruck nicht auftreten. Herr *Wolter* verglich also die Größe der Subelektronen, die er an Teilchen irgendeines Materials bei normalem Luftdruck erhielt, mit der Größe der Subelektronen bei Ladungsmessungen an Teilchen aus demselben Material, die bei 5 oder 9 Atmosphären Druck beobachtet wurden. Dabei zeigte sich — trotzdem eine Reihe von verschiedenen Materialien untersucht wurde — nie der geringste Einfluß des Luftdrucks auf die Größe der Ladungsunterschreitung. Damit war also ein *erneuter Beweis für die Richtigkeit des Widerstandsgesetzes* beigebracht. Nun gab es nur noch zwei Möglichkeiten: entweder lag in der Ehrenhaftschen Ladungsmessung der Fehler an der Dichte bzw. der Gestalt der Partikeln oder aber die Versuche sind einwandfrei und die Subelektronen haben reale Existenz. Der Beweis, daß die erstere Möglichkeit die richtige ist, war aber leicht zu erbringen.

§ 8. *Die wirkliche Ladung der Ehrenhaftschen Partikeln.* Wir haben bei Besprechung der Versuche zur Prüfung des Widerstandsgesetzes bemerkt, daß es möglich ist, dasselbe Teilchen bei verschiedenen Gasdrucken zu beobachten. Damit hat man aber ein Verfahren in der Hand, die elektrische Ladung eines solchen Teilchens lediglich unter der Voraussetzung des — hinreichend bekannten — Widerstandsgesetzes zu bestimmen, ohne irgendwelche Voraussetzungen über die Dichte machen zu müssen. Gleichzeitig hat man noch die Möglichkeit, die unbekannte Dichte selbst experimentell zu bestimmen, und kann auf diese Weise nachprüfen, in welchem Maße *die Ehrenhaftsche Voraussetzung, daß die Dichte der Partikeln gleich derjenigen des kompakten Materials* sei, erfüllt ist. Um dies einzusehen, bemerken wir folgendes: Hat man die Fallgeschwindigkeiten v_1 und v_2 des gleichen Teilchens bei zwei verschiedenen Gasdrucken, denen die freien Weglängen l_1 und l_2 entsprechen mögen, gemessen, so erhält man an Stelle der einen Gleichung (5)[1]) die zwei Gleichungen:

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \sigma g = \frac{6\pi\mu a v_1}{1 + A\frac{l_1}{a}} = \frac{6\pi\mu a v_2}{1 + A\frac{l_2}{a}} \quad \ldots (13$$

[1]) $$\frac{4}{3}\pi a^3 \sigma g = \frac{6\pi\mu a v_1}{1 + A\frac{l}{a}} \quad \ldots\ldots (5$$

In diesen beiden Gleichungen kommen zwei Unbekannte vor, nämlich der Radius a und die Dichte σ des Partikels, d. h. wir haben ebenso viele Gleichungen wie Unbekannte. *Wir können also Radius und Dichte berechnen* und erhalten die Masse und damit auch die Ladung des Teilchens, ohne irgendwelche Voraussetzungen über die Teilchendichte gemacht zu haben. Solche Versuche (8) zur Dichte- und Ladungsbestimmung wurden angestellt an Platin-, an Selen- und an Paraffinpartikeln, die von derselben Größe waren wie die von *Ehrenhaft* verwendeten.

Wir wollen uns zuerst mit dem *Resultat der Ladungsbestimmung* befassen. Trotzdem die Ladungsmessungen an Teilchen aus derart verschiedenen Materialien angestellt wurden, und trotzdem nach einer besonderen Methode, deren Besprechung zu weit führen würde, immer unter vielleicht hundert Partikeln dasjenige ausgesucht wurde, das die kleinste Ladung zu tragen schien, so hatten doch alle diese Versuche das nämliche Ergebnis: *Die elektrischen Ladungen der Teilchen stimmten* innerhalb der Annäherung, mit der das Widerstandsgesetz bekannt ist, *ausnahmslos mit der Elektronenladung bzw. einem kleinen Vielfachen ihres Wertes überein.* Es zeigte sich keine Spur von jener unverständlichen Erscheinung — die *Ehrenhaft* zur Vermutung geführt hatte, daß es beliebig kleine Elektrizitätsmengen in der Natur gebe —, daß nämlich die elektrische Ladung eines Teilchens im Durchschnitt um so kleiner wird, je kleiner der Radius des Teilchens ist. Berechnete man anderseits — um zu prüfen, ob die Ehrenhaftschen Versuchsverhältnisse exakt reproduziert waren — auch noch die Ladungen der Teilchen auf Grund der *unbewiesenen Ehrenhaftschen Annahme*, daß die *Dichte der Partikeln gleich der des kompakten Ausgangsmaterials* sei, so zeigten sich, namentlich bei den *Pt*-Teilchen, die bekannten, mit abnehmendem Teilchenradius immer größer werdenden Ladungsunterschreitungen. Es lagen also wirklich die Ehrenhaftschen Versuchsverhältnisse vor.

Damit war bewiesen, daß die Elektronenladung wirklich das Atom der Elektrizität, d. h. die kleinste in der Natur vorkommende Elektrizitätsmenge darstellt, und

es war gleichzeitig der Fehler aufgedeckt, der für die Subelektronen bei den Ehrenhaftschen Versuchen verantwortlich zu machen ist, nämlich die falsche Annahme, daß die Partikeldichte gleich sei derjenigen des kompakten Materials.

Wenn diesen Versuchen auch keine große Genauigkeit eigen ist — Präzisionsmessungen werden sich an einem derartigen Teilchenmaterial wohl überhaupt nicht ausführen lassen —, so ist damit doch gezeigt, daß man prinzipiell die Möglichkeit hat, auch an Teilchen, deren Dichte man nicht kennt, und über welche man auch keine Voraussetzungen zu machen braucht, noch Ladungsmessungen auszuführen. Wir bemerken auch, daß diese Teilchen eine hundert- bis tausendmal kleinere Masse haben als die Millikanschen Öltröpfchen. Damit wird die Tatsache, daß die Elektronenladung eine universelle Naturkonstante darstellt, besonders augenfällig. Während bei den Millikanschen Versuchen die Dichte der Partikeln bekannt sein muß und außerdem nur Teilchen eines beschränkten Größenintervalls zur Messung gelangen, sind wir hier von diesen Beschränkungen frei, insbesondere gelangen die kleinsten Teilchen, an denen sich überhaupt noch Versuche anstellen lassen, zur Beobachtung, und das Resultat ist doch immer das nämliche: es gibt in der Natur keine kleineren Elektrizitätsmengen als die Elektronenladung.

§ 9. *Die Dichte der Ehrenhaftschen Partikeln.* Was nun die Dichte der Partikeln anbetrifft, so zeigten die Versuche, daß sie einen *von Teilchen zu Teilchen veränderlichen Wert* hat, und zwar schwankte die Dichte der Platinpartikeln (Dichte des Pt = 21,4) zwischen 0,2—8,5, diejenige der Selenpartikeln (Dichte des Se = 4,45) zwischen 0,5—4,0, und die der Paraffinteilchen (Dichte des Paraffins = 0,879) zwischen 0,4—1,5. Es erhebt sich jetzt die Frage, wie sind solch große Schwankungen der Dichte und namentlich wie sind die extrem kleinen Werte derselben bei manchen Platinteilchen zu erklären? Hierzu ist folgendes zu sagen: Die Ehrenhaftschen Edelmetallpartikeln werden durch Zerstäuben bzw. Verdampfen im elektrischen Lichtbogen oder evtl. im Wechselstromfunken erzeugt. Dabei werden sie wohl in Fetzenform von den Elektroden abgerissen, oder aber die Partikeln kristallisieren, wenn sie im Lichtbogen flüssig und daher kugelförmig waren, beim Abkühlen aus und erhalten dadurch eine Gestalt, die bei den kleinsten Teilchen beliebig von der Kugelform abweichen kann und bei den größeren zum mindesten an der Oberfläche große Unebenheiten aufweisen wird. Dasselbe gilt auch mehr oder weniger von den durch Verdampfen erzeugten Selen- und Schwefelteilchen, wie überhaupt von allen Partikeln, die aus einem festen Material bestehen. Es ist klar, daß solche Teilchen zu genaueren Ladungsmessungen ungeeignet sind, und in der Tat konnten auch keine mit ihnen ausgeführt werden, selbst wenn die Teilchen von Millikanscher Größenordnung waren. Dieser Umstand mußte übrigens schon immer ein Hinweis sein, daß die Dichte bzw. *die Gestalt der Partikeln die Subelektronen verschuldet*, und nicht das Fallgesetz; denn sonst hätten sich an Teilchen Millikanscher Größenordnung, auch wenn sie aus einem festen Ausgangsmaterial hergestellt wurden, einwandfreie Ladungsmessungen anstellen

lassen müssen. Daß die Ladungsunterschreitungen mit abnehmendem Teilchenradius immer größer werden, ist selbstverständlich, denn dann fällt eben die unregelmäßige Gestalt der Oberfläche immer mehr ins Gewicht.

Wie läßt sich nun die Annahme einer unregelmäßigen Gestalt der Teilchen mit den Ehrenhaftschen Mikrophotographien vereinbaren, die doch die Kugelform der Teilchen zu beweisen scheinen? Auf diesen Photographien sind nur die allergrößten der zur Ladungsmessung verwendeten Partikeln deutlich zu erkennen; bei diesen sind aber auch die gefundenen Abweichungen von der Elektronenladung nicht sehr beträchtlich. Die großen Ladungsunterschreitungen zeigen sich erst an den kleineren Teilchen und auch unter diesen wiederum nur bei einem unter vielleicht hundert Partikeln. Dieses eine, das nun eine außergewöhnliche Gestalt oder eine besonders kleine Dichte besitzt, kann man zwar, wie erwähnt wurde, zur Ladungsmessung isolieren, auf den Mikrophotographien würde es aber, selbst wenn es viel deutlicher sichtbar wäre, als dies tatsächlich der Fall ist, doch unter der Masse der normalen Partikeln verschwinden. Wir müssen daher die Frage, ob die auffällig kleine Dichte dieser Partikeln durch fetzenförmige Gestalt oder aber durch schwammartige Struktur zu erklären ist, unentschieden lassen.

Damit ist das Auftreten der Subelektronen an Partikeln aus festen Materialien aufgeklärt. *Ehrenhaft* hat aber auch an Quecksilber- und an Ölteilchen Ladungsmessungen angestellt bzw. anstellen lassen und auch dabei Subelektronen erhalten. Über die Versuche (11) an Ölpartikeln können wir uns kurz fassen. Deren Ergebnisse stehen nicht nur im Widerspruch zu den Millikanschen Messungen an größeren Öltröpfchen, sondern sie sind auch unvereinbar mit den Versuchsergebnissen einer ganzen Anzahl anderer Autoren, die an ebenso kleinen Ölteilchen Ladungsmessungen ausgeführt und dabei ausnahmslos die Millikanschen Resultate, natürlich mit wesentlich kleinerer Genauigkeit, wiedergefunden haben. Der Widerspruch ist aber leicht aufzuklären. Er beruht nämlich auf der Nichtbeachtung der beträchtlichen, durch die Brownsche Bewegung dieser kleinen Partikeln entstehenden Fehler. Richtig interpretiert geben auch diese Messungen keinerlei Andeutung für die Existenz von Subelektronen.

Die Ehrenhaftschen Versuche an Quecksilberteilchen sind Gegenstand langer Diskussionen gewesen. *Ehrenhaft* erzeugte diese Partikeln durch Zerstäuben von Hg im elektrischen Lichtbogen. Bei Ladungsmessungen traten wieder Subelektronen auf, doch besaßen die Teilchen eine bei Quecksilberpartikeln verdächtige Eigenschaft: eine absolut konstante Masse. Aus thermodynamischen Gründen müßten solche Teilchen nämlich verdampfen, und zwar, wie *E. Rie* (12) ausgerechnet hat, mit einer besonders bei solch kleinen Partikeln sehr großen Geschwindigkeit. Man hat also Grund zur Annahme, daß die Ehrenhaftschen Partikeln nicht aus reinem Quecksilber bestehen, sondern aus irgendwelchen chemischen Verbindungen, die sich im Lichtbogen infolge der hohen Temperatur bilden können. Einen weiteren Umstand, der dieser Vermutung sogar einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit verleiht, bildet die Tatsache, daß *Silvey* (13), *Schidlof* und *Targonski* (14) und *Derieux* (15) bei Ladungsmessungen an Quecksilberteilchen, die durch Verdampfen oder mechanisches Zerstäuben von Hg erzeugt worden waren, also mit großer Wahrscheinlichkeit aus reinem Hg bestanden, den richtigen Wert für die Elektronenladung und gleichzeitig jene von der Theorie geforderte Massenabnahme der Partikeln gefunden haben. Herr *Ehrenhaft* (16) glaubte früher die Massenabnahme der Teilchen von *Schidlof* und *Targonski* durch die Annahme erklären zu können, daß diese Partikeln gar keine Hg-, sondern Wasserteilchen seien, aber er hat sich inzwischen davon überzeugen müssen, daß die Tatsache des Verdampfens der Quecksilberpartikeln zu Recht besteht, was daraus hervorgeht, daß er selbst dem Quecksilber, aus dem er seine Teilchen neuerdings ebenfalls durch Verdampfung erzeugt, ein Promille Blei zusetzt, um die Partikeln massenkonstant zu machen (17).

Die Erscheinungen, die an durch Verdampfung oder mechanisches Zerstäuben von reinem Hg erzeugten Partikeln auftreten, sind freilich, wie besonders die erwähnten Arbeiten von *Schidlof* und *Targonski* zeigen, recht komplizierter Natur und durchaus noch nicht genügend geklärt. Die Partikeln erhalten nämlich, wenn sie längere Zeit im Gas schwebend gehalten werden, meistens eine konstante Masse. Dann zeigen sie, wie die Ehrenhaftschen Partikeln, Subelektronen. Man muß also annehmen, daß irgend ein Prozeß, über dessen Natur man vorerst nur Vermutungen äußern kann, an ihrer Oberfläche stattfindet, der sowohl die Dichte der Partikeln verringert — und so die Subelektronen hervorruft —, als auch die weitere Verdampfung der Teilchen verhindert.

§ 10. *Abschließende Bemerkungen.* Wir müssen noch einige Bemerkungen machen über die andern Methoden zur Größenbestimmung submikroskopischer Teilchen. Die wichtigste der übrigen Methoden ist die Größenbestimmung aus der Brownschen Bewegung der Partikeln. Diese Methode ist, wie oben erwähnt wurde, von jeder Annahme über die Dichte der Partikeln und über das Widerstandsgesetz unabhängig, und sie verdiente daher den Vorzug vor der Widerstandsgesetzmethode, wenn ihre Anwendung nicht so kompliziert wäre. Es muß eine überaus große Anzahl von Passagezeiten am einzelnen Teilchen gemessen werden, um daraus Masse und Ladung des Teilchens mit einiger Genauigkeit bestimmen zu können. Während nämlich bei der Wider-

standsgesetzmethode die Größe des Partikels aus dem Mittelwert aller gemessenen Fallzeiten berechnet wird, geschieht hier die Berechnung aus der Größe der Schwankungen der einzelnen Passagezeiten um diesen Mittelwert. In jüngster Zeit hat nun Herr *E. Schmid* (18) in einer sehr schönen, im Ehrenhaftschen Institut angestellten Experimentaluntersuchung die Brownsche Bewegung von Selenteilchen gemessen, wobei er bis zu 1500 Fallzeiten desselben Partikels registrierte. Dabei erhielt er für alle Teilchen, deren kleinste einen Radius von $5 \cdot 10^{-6}$ cm hatten, Ladungswerte, die dem Millikanschen Wert für die Elektronenladung recht nahe kommen. Diese Übereinstimmung ist um so erfreulicher, als sie einen neuen Beweis für die Existenz des elektrischen Elementarquantums darstellt.

Die Ehrenhaftsche Methode der Größenbestimmung der Partikeln aus der Farbe des von ihnen abgebeugten Lichtes ist von Frl. *E. Norst* (19) einer eingehenden Kritik unterzogen worden, auf die hier nur hingewiesen werden kann. Es ergibt sich, daß im allgemeinen die Farben der Teilchen zu wenig gesättigt sind, um darauf eine quantitative Größenbestimmung bauen zu können. Es ist sogar der Zusammenhang zwischen Teilchenradius und Farbe nicht einmal immer eindeutig. Schließlich ist die Methode auch deswegen anfechtbar, weil sie wiederum die Teilchen als kugelförmig voraussetzt und annimmt, daß dieselben die Dichte (bzw. die optischen Konstanten) des kompakten Materials besitzen.

Damit sind wir am Schluß unserer Ausführungen angelangt. Wir haben diejenigen — für das Endergebnis allerdings unwesentlichen — Punkte, die noch nicht klargestellt sind, ausdrücklich als solche erwähnt. Man muß trotzdem zu dem Schlusse kommen, daß der Streit um das Elektron endgültig entschieden ist: *Die atomistische Struktur der Elektrizität ist bewiesen,* und die Ladung des Elektrons in der Größe von $4{,}774 \pm 0{,}005 \cdot 10^{-10}$ elst. E. muß als elektrisches Elementarquantum, als kleinste Menge, in der sowohl die positive als auch die negative Elektrizität auftreten kann, angesehen werden. Über die Natur des Elektrizitätsatoms, z. B. über seine Gestalt und über seine Masse sagen unsere Versuche freilich nichts aus. Aber eine Reihe von anderen physikalischen Beobachtungen gestatteten doch schon seit einiger Zeit, wenigstens vom Atom der negativen Elektrizität, dem Elektron, sich ein durchaus anschauliches Bild zu machen. Dagegen war die Natur der positiven Elektrizität bis vor kurzem ziemlich unklar. Erst die wunderbaren Versuche von *Rutherford* über die künstliche Zerlegung der leichten chemischen Elemente und die Astonschen Versuche über die allgemeine Isotopie, aus denen die exakte Ganzzahligkeit der Atomgewichte folgt, haben Licht in dieses Dunkel gebracht. Schon heute spricht eine Reihe schwerwiegender Gründe dafür, daß der positive Kern des Wasserstoffatoms, das sog. Proton, das Atom der positiven Elektrizität ist. Protonen und Elektronen stellen dann die Uratome dar, die Bausteine, aus denen alle übrigen chemischen Elemente aufgebaut sind, und die Vorstellung von der atomistischen Struktur der Elektrizität, obgleich ursprünglich hervorgegangen aus der Theorie von der atomistischen Struktur der chemischen Elemente, gewinnt nun eine viel tiefere Bedeutung als die letztere, da sich die atomistische Struktur der Elemente jetzt als Folge der atomistischen Struktur der Elektrizität herausstellt.

Man sieht, in welch schöner und harmonischer Weise die Ergebnisse der einzelnen getrennten physikalischen Forschungsgebiete sich ergänzen und ineinander passen. Wer sich freilich mit den Rätseln der Quantentheorie beschäftigt hat, der weiß, daß die Lösung eines Problems nur immer neue ungelöste Probleme aufzeigt, und der Physiker wird die endgültige Entscheidung im Streite um die Existenz des Elektrons nur deswegen begrüßen, weil sie ihm das Fundament gibt, um neue, ungleich tiefer liegende Probleme in Angriff nehmen zu können.

Literaturverzeichnis.

1. *A. Joffé*, Sitzber. d. bay. Akad. S. 19, 1913.
2. *Edgar Meyer* und *W. Gerlach*, Arch. d. Gen. **35**, 398, 1913, und Ann. d. Phys. **45**, 177, 1914.
3. *R. Bär*, Ann. d. Phys. **57**, 161, 1918.
4. *F. Ehrenhaft* und *D. Konstantinowsky*, Ann. d. Phys. **58**, 199, 1919.
5. *R. Bär* und *F. Luchsinger*, Phys. ZS. **22**, 225, 1921.
6. *M. Knudsen* und *S. Weber*, Ann. d. Phys. **36**, 981, 1911.
7. *R. Bär*, Ann. d. Phys. **59**, 393, 1919.
8. *R. Bär*, Ann. d. Phys., im Druck befindlich.
9. *P. Lenard*, Ann. d. Phys. **60**, 329, 1919 und **61**, 665, 1920.
10. *K. Wolter*, ZS. f. Phys. **6**, 339, 1921.
11. *I. Parankiewicz*, Wien. Akad. Ber. **126**, 1293, 1917, und Ann. d. Phys. **53**, 551, 1917.
12. *E. Rie*, Ann. d. Phys. **63**, 759, 1920.
13. *O. W. Silvey*, Phys. Rev. **7**, 87, 1916.
14. *A. Schidlof* und *A. Karpowicz*, Arch. d. Gen. **41**, Febr. 1916, *A. Targonski*, Arch. d. Gen. **41**, März, April, Mai 1916, und *A. Schidlof*, Arch. d. Gen. **43**, März 1917.
15. *J. B. Derieux*, Phys. Rev. **11**, 203, 1918.
16. *F. Ehrenhaft*, Phys. ZS. **63**, 759, 1920.
17. *F. Ehrenhaft* und *D. Konstantinowsky*, Ann. d. Phys. **63**, 773, 1920.
18. *E. Schmid*, Wien. Akad. Ber. **129**, 813, 1920, und ZS. f. Phys. **5**, 27, 1921.
19. *E. Norst*, Verh. d. D. Phys. Ges. **1**, 68, 1920.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Die Phosphatrohstoffe.

In Heft 44 des neunten Jahrganges dieser Zeitschrift, Seite 887, hat Herr Professor *V. M. Goldschmidt*, Kristiania, eingehende Darlegungen über die Phosphatrohstoffe veröffentlicht. Er geht in dieser Abhandlung davon aus, daß diejenigen Eisenerze, welche heute die Hauptquelle des Thomasphosphats sind, im Laufe des 20. Jahrhunderts größtenteils auf-

gebraucht werden, und spricht auf Grund eingehender Untersuchungen den vorhandenen Lagern von Rohphosphaten nur eine durchschnittliche Lebensdauer von 21 bis 70 Jahren zu. Wenn diese Befürchtungen zuträfen, so wäre die künftige Versorgung unserer Landwirtschaft mit phosphorsäurehaltigen Düngemitteln auf längere Zeit hinaus trübe zu beurteilen. Indessen ist vielleicht doch anzunehmen, daß die Goldschmidtschen Schätzungen in mancher Hinsicht zu pessimistisch sind. Es mag dahingestellt bleiben, ob die Annahme, daß die phosphorhaltigen Eisenerze im Laufe dieses Jahrhunderts größtenteils aufgebraucht sein werden, zutrifft, was immerhin zum mindesten nicht unzweifelhaft erscheint, jedenfalls ergeben aber die letzthin bekannt gewordenen Nachrichten, daß die Vorkommen an Rohphosphaten doch länger zureichen dürften, als Herr Professor *Goldschmidt* bei seiner vorsichtigen Schätzung glaubte annehmen zu sollen.

Die in der Welt vorhandenen abbauwürdigen Phosphatvorkommen sind noch zu wenig eingehend untersucht, als daß eine abschließende Schätzung ihrer Mengen möglich wäre. Für die Phosphate auf den Inseln des Stillen und Indischen Ozeans sowie in Westindien mögen die Annahmen der Goldschmidtschen Abhandlung zutreffen. Mit ziemlicher Gewißheit ist aber zu erwarten, daß in Nordafrika wesentlich größere abbauwürdige Mengen vorhanden sind. In seinen Schätzungen für Marokko und ebenso auch für das übrige Nordafrika ist Herr Professor *Goldschmidt* wohl nicht weit genug gegangen. Er veranschlagt die sicheren Reserven reicher Phosphate in Algier auf 17, in Tunis auf 36, zusammen auf 53 Millionen Tonnen, und zählt hierzu 100 Millionen Tonnen der wahrscheinlichen und möglichen Afrikareserven, zusammen also 153 Millionen Tonnen für schon heute abbauwürdig. Hierin sollen nicht nur die Vorkommen von Algier und Tunis, sondern auch die von Marokko und Ägypten enthalten sein.

In Marokko ist erst ein Vorkommen genauer erforscht, nämlich das zwischen dem Tal von Oued-Oumer-Rabia und der Straße von Tadla nach Casablanca, welches nach zwei Städten am östlichen und westlichen Ende gewöhnlich das von Ouedzem und El Bourourdj genannt wird. Dieses soll nach Angabe eines Fachblattes[1]), die auf einem Bericht der Marokkanischen Bergbaubehörde beruht, allein 1000 Millionen Tonnen enthalten. Selbst wenn diese Schätzung sich als zu hoch erweisen sollte, ist doch mit Hunderten von Millionen Tonnen gewiß zu rechnen. Ferner sind in Marokko noch vier weitere Lagerstätten bekanntgeworden, wenn auch noch nicht genau erforscht, die teilweise ebenfalls sehr ausgedehnt und mächtig sind und bei denen man ebenfalls auf mehrere Hundert Millionen Tonnen rechnen darf.

Auf Grund von Angaben der Gesellschaften, die in Algier und Tunis arbeiten, wird man die dort abbauwürdigen Mengen zusammen bei sehr vorsichtiger Schätzung auf 110 Millionen Tonnen veranschlagen dürfen. Dazu kommt, daß in Ägypten wertvolle Lagerstätten aufgefunden sind und sich auch in Tripolis Vorkommen befinden sollen.

Setzt man für Marokko zunächst nur 200 Millionen Tonnen und für Ägypten und Tripolis zusammen 10 Millionen Tonnen ein, so käme man bei ganz vorsichtiger Schätzung für Nordafrika auf 320 Millionen Tonnen statt 153 Millionen Tonnen. Wahrscheinlich sind aber die Vorräte um Hunderte, vielleicht um Tausende von Millionen Tonnen größer.

Für die Beurteilung des sogenannten „westlichen Phosphatgebiets" in den Vereinigten Staaten von Nordamerika ist wesentlich, daß von dort im vorigen Jahr bereits Offerten für diese Phosphate in Europa vorgelegen haben, ein Zeichen dafür, wie leicht es möglich ist, daß auch diese größte Quelle von Phosphaten für den europäischen Bedarf erschlossen werden kann.

Berlin-Charlottenburg, den 4. Februar 1922.

Pietrkowski.

Auch ich halte es für wahrscheinlich, daß die marokkanischen Phosphatlagerstätten Bedeutung für den Weltmarkt gewinnen werden (vgl. meine Darlegungen in Heft 44, Jahrgang 9 dieser Zeitschrift). Ich habe jedoch diese Vorkommen nicht in vollem Umfange unter den „sicheren", zahlenmäßig festgestellten, mitgerechnet, da zuverlässige Unterlagen für eine quantitative Beurteilung noch kaum vorliegen. Und gerade Phosphatlagerstätten bedürfen einer äußerst eingehenden Untersuchung als notwendige Unterlage einer zahlenmäßigen Beurteilung.

Herr *Pietrkowski* schätzt die nordafrikanischen Phosphatreserven auf mindestens 320 Millionen Tonnen, vielleicht auf tausende von Millionen Tonnen. Ich habe als „sicher" 53—153 Millionen Tonnen angenommen, wozu noch 500—600 Millionen Tonnen als „Reserven weniger günstiger Lage und arme Phosphate, sowie zahlenmäßig unsichere Angaben" kommen, hierin alle marokkanischen Vorkommen miteinbegriffen.

Ob man die Phosphatfrage „optimistisch" oder „pessimistisch" beurteilen soll, kann natürlich strittig sein.

Die heutige Phosphatwirtschaft beruht großenteils auf einem Raubbau an ungewöhnlich reichen Lagerstätten, die eine billige Produktion hochprozentiger Phosphate erlauben. Aber es kann keinem Zweifel unterliegen, daß solche reiche Phosphatlagerstätten, ihrer ganzen geologischen Natur nach, nur an wenigen Orten vorkommen, und nicht unerschöpflich sein können.

Es ist sicher, daß die heutige Bewirtschaftungsweise der Phosphate noch mehrere Jahrzehnte fortgesetzt werden kann, aber diese Wirtschaft zehrt an einem sehr begrenzten Kapital, das im Besitze einiger weniger Mächte ist.

Vergleicht man die Weltreserven an Phosphat mit den Reserven an Steinkohle, gemessen am jährlichen Verbrauche beider Rohstoffe, so unterliegt es keinem Zweifel, daß die Phosphatreserven weit eher erschöpft sein werden als die Steinkohlenreserven. Hierbei muß man aber noch in Betracht ziehen, daß die Steinkohlen als Kraftquelle vielleicht von andern Energiequellen abgelöst werden können, während die Phosphate eine ganz unersetzliche Substanz sind.

Kristiania, den 26. März 1922.

V. M. Goldschmidt.

[1]) „The American Fertilizer" Bd. *53*, Nr. 8, vom 9. Oktober 1920

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

In der Sitzung am 7. Januar 1922 berichtete Professor *Otto Nordenskiöld* (Göteborg) über seine **Reisen in Patagonien und Peru** vom Sommer 1920 bis Herbst 1921. Von Lima aus wurde ein Abstecher in die südperuanische Kordillere gemacht, die sich zwischen den Küstenwüsten im Westen und den feuchten Tropenwäldern des Ostens hinzieht. Nach der Minenstadt

Cerro de Pasco, die in 4300 m gelegen als höchste Stadt der Erde gilt, führt über Oroya eine Eisenbahn, die in einem 4780 m hoch gelegenen Tunnel die Wasserscheide zwischen Stillem und Atlantischem Ozean kreuzt, nur 100 km von dem ersteren, aber mehr als 3000 km von dem letzteren entfernt. Während zu unterst in den Tälern Zuckerpflanzungen und Obstplantagen sich aneinanderreihen, kommt man beim Ansteigen in immer ödere Regionen. Nach dem Passieren des Tunnels ändert sich die Landschaft mit einem Schlage. Die Hochflächen im Osten sind ein großes Viehzuchtgebiet, in dem die Rinderherden von indianischen Familien bewacht werden. Auch Getreide- und Kartoffelbau spielt hier eine Rolle. Oberhalb 4000 m, wo in jeder Nacht Frost eintritt, beginnt die Region der Schafe, die in noch größeren Höhen, in denen sie nicht mehr fortkommen, durch Lamas und Alpakas abgelöst werden. Ein in großer Höhe gelegenes Steinkohlenvorkommen ist hier von hervorragender wirtschaftlicher Bedeutung. Ausflüge in das vergletscherte Hochgipfelgebiet zeigten, daß auch in den niedrigeren Teilen überall Spuren ehemaliger Vergletscherung vorkommen, doch handelt es sich meist nur um eine dünne Moränendecke auf dem stark verwitterten Felsuntergrund.

In den weiter östlich gelegenen tieferen Urwaldregionen baut man namentlich Agave, Kaffee und Zucker, welch letzterer zu Branntwein verarbeitet wird. Eine zwei Wochen währende Fahrt auf Flößen führte den Rio Perene stromabwärts bis zu dessen Vereinigung mit dem Rio Ene. Beide bilden zusammen den Rio Tambo, einen der Quellflüsse des Ucayali. Diese Floßfahrt, an der 20 Weiße und 20 Indianer teilnahmen, war wegen der vielen Stromschnellen — das Gefälle beträgt 300 m auf 200 km — reich an Zwischenfällen. Daß der Fluß schon früher einmal von Missionaren befahren wurde, beweist eine große, zur Hälfte aus dem Wasser hervorragende Kirchenglocke, die dort früher verloren gegangen war. Hier leben wenig bekannte Indianerstämme, die einen Übergang von den Wald- zu den Bergindianern darstellen. Merkwürdig sind hohe, im Binnenlande vorkommende Pfahlbauten, die bisher nicht bekannt waren. Der Rückweg nach Lima führte wesentlich durch tropischen Urwald und Hochgebirgswald.

Nach Erledigung dieses ersten Abschnitts seiner Reise fuhr *Nordenskiöld* zu Schiff länga der Küste südwärts bis zum Golfo de Peñas in 47° Süd, um von dort aus einen Vorstoß zum Rande des patagonischen Gletschergebietes zu machen, das hier nahe an die Küste herantritt. Es handelte sich um die Erforschung der Existenzbedingungen jenes ausgedehnten, 700 km weit in der Nord-Süd-Richtung sich erstreckenden Eisfeldes, das außerhalb der Polargebiete die längste zusammenhängende Eismasse der Erde darstellt. Am Meeresstrande findet sich eine üppige Vegetation von immergrünen Buchen, die mit dichten Hüllen von Moos und Kräutern überwachsen sind, so daß sie Dicken bis zu 6 m erreichen. Auch die Bodenvegetation ist stark entwickelt. Die Waldgrenze wurde in 250 m, ein Gebirgskamm in 700 m Höhe passiert, und der dahinter liegende Eisrand nun 1½ Monate lang eingehend untersucht. Von den westlichen Ausläufern des Eises mündet der San Rafael-Gletscher in einen See. Der südlicher gelegene, mehr als 10 km breite San Tadeo-Gletscher wurde genau vermessen. Er gehört dem Typus der Vorland- (Piedmont-) Gletscher an. Das große Eisgebiet selbst ist nicht als Inlandeis aufzufassen, sondern es ähnelt dem Spitzbergentypus. Merkwürdig waren ertrunkene Wälder und große umgebogene Rasenstücke mit durchgepreßten Steinen, die auf eine gewaltige umformende Kraft in der Gegenwart hindeuten, für die jedoch bisher jede Erklärung fehlt. Die meteorologischen Beobachtungen ergaben eine mittlere Lufttemperatur von etwas unter 10° für den wärmsten Monat. An 50 Tagen wurden rund 1000 mm Regen gemessen. Auch die Vegetationsverhältnisse deuten darauf hin, daß wir es hier vielleicht mit der niederschlagsreichsten Gegend der Erde außerhalb der Tropen zu tun haben. In den Küstengewässern finden sich keine Fische, weshalb auch Seevögel völlig fehlen.

In der Fachsitzung am 23. Januar hielt Professor *A. Merz* (Berlin) einen Vortrag: **Die ozeanische Zirkulation mit besonderer Berücksichtigung des Atlantischen Ozeans.**

Messungen der physikalischen Eigenschaften des Meerwassers in der Tiefe blieben lange vereinzelt und ungenau, beschränkten sich zudem meist auf Bestimmungen der Temperatur. *Alexander von Humboldt* ist der erste, von dem wir Äußerungen über die Wasserzirkulation im Weltmeere besitzen, die sich auf Beobachtungen stützen. Er nahm (1814) warme, nach den Polen gerichtete Oberflächenströmungen an, denen in der Tiefe kalte Strömungen nach dem Äquator entsprechen sollten. Ein wesentlicher Fortschritt wurde 1847 durch *Lenz* erzielt, der auf einer Weltreise Messungen in der Tiefe ausführte und feststellte, daß unter dem Äquator die Temperatur in geringen Tiefen niedriger ist als in den Subtropen. Nach ihm ist die Wasserzirkulation im Weltmeere durch Temperaturdifferenzen bedingt. Einer aufsteigenden Bewegung unter dem Äquator entspricht eine absteigende in höheren Breiten. *Ferrel* hatte eine ähnliche Auffassung, doch führte er den ablenkenden Einfluß der Erdrotation in die Theorie der ozeanischen Zirkulation ein. *Carpenter* wies darauf hin, daß auch der wechselnde Salzgehalt sowie der Wind Gleichgewichtsstörungen hervorrufen. *Maury* war der Meinung, daß die Salzgehaltverteilung der thermischen Zirkulation entgegen wirke, die Temperaturverteilung aber doch das Ausschlaggebende sei. *James Croll* betonte in den Jahren 1870 bis 1875, daß die Wirkungen der Temperatur- und Salzgehaltverteilung unbedeutend seien gegenüber dem Wind, der als Hauptursache der Meeresströmungen anzusprechen sei. Er treibe das Wasser nach höheren Breiten, so daß der Effekt der gleiche ist, wie ihn das thermische Zirkulationsschema veranschaulicht.

Die Resultate der „Challenger"-Expedition 1872 bis 1876 wurden zunächst als Bestätigung dieser weitverbreiteten Auffassung betrachtet, bis *Buchanan* 1885 und *Buchan* 1895 die Ergebnisse ohne vorgefaßte Meinung objektiv durcharbeiteten und den Nachweis erbrachten, daß die vertikale Verteilung von Temperatur und Salzgehalt in Wahrheit ganz anders ist, als man bisher angenommen hatte. Im Äquatorialgebiet liegt unter einer salzärmeren Oberflächenschicht salzreicheres Wasser, das aus höheren Breiten stammt. Darunter folgt in etwa 1000 m Tiefe salzärmeres, von Süden kommendes, in 2500 m wieder wärmeres, salzreiches, und darunter kaltes Tiefenwasser. Die bis dahin als durchgehend angenommene Vertikalzirkulation reicht also nur bis in geringe Tiefen von wenigen hundert Metern. Die Ergebnisse der Challenger-Expedition sind manchen späteren Forschern entgangen, und die Überzeugung von einer gleichmäßigen Salzgehalts- und

Temperaturabnahme mit der Tiefe war ziemlich fest eingewurzelt.

Der Vortragende hat es nun unternommen, unter Mitarbeit von Dr. *G. Wüst* das gesamte bisher vorliegende Beobachtungsmaterial für den 30. Meridian westlicher Länge kritisch durchzuarbeiten. Von den Ergebnissen, die den Inhalt einer besonderen Veröffentlichung bilden werden, und deren Einzelheiten zu ihrem Verständnis die Betrachtung der von dem Vortragenden ausgestellten Profiltafeln voraussetzen, seien hier nur einige hervorgehoben.

Die großartigste, tiefreichende Warmwasseransammlung findet sich um 30° Nord, eine schwächere in 20° Süd. Zwischen beiden wird die hocherwärmte dünne Oberflächenschicht durch kalte Wassermassen unterlagert. Diese Wärmeverteilung nun kann, wie eine Berechnung der Wärmezufuhr ergibt, nicht durch die Wirkung thermischer Kräfte erklärt werden. Ungeklärt ist noch das Problem, was mit den Wassermassen der beiden polaren Bodenströme geschieht. Wahrscheinlich dürften sie sich allmählich mit den über sie hinfließenden Wasserschichten vermischen.

Auf Grund der Salzgehaltsverteilung müßte ein Zirkulationssystem mit absteigender Bewegung in den Subtropen und Aufsteigen in Tropen und Polargebieten vorhanden sein. Dieser haline Kreislauf würde also dem thermischen gerade entgegen wirken. Den höchsten Salzgehalt weisen die Subtropen auf, besonders im Nordatlantischen Ozean. Eine große salzarme Zwischenschicht, die von dem antarktischen Oberflächenwasser herrührt, macht sich noch bis etwa 30° Nord bemerkbar. Unter dieser Zwischenschicht bewegt sich ein warmer und salzreicher, von dem nordatlantischen subtropischen Oberflächenwasser stammender Tiefenstrom von großer Mächtigkeit südwärts bis 40° Süd, um sich dann bis nahe an die Oberfläche zu erheben.

Die Zusammenfassung von thermischer und haliner Zirkulation ergibt in großen Zügen etwa folgendes Bild. Aus den Subtropen fließt warmes, salzarmes Oberflächenwasser von kaum 50 m Mächtigkeit den Tropen zu, unter dem eine Kompensationsströmung mit kühlerem, salzreichem Wasser, die bis etwa 150 m Tiefe reicht, zurückfließt. Es zeigt sich also, daß die alte Anschauung von einer Vertikalzirkulation mit einer durch Tausende von Metern aufsteigenden Wasserbewegung im Äquatorialgebiet unhaltbar ist, die Vertikalbewegung vielmehr auf einen kleinen Rest zusammenschrumpft. Diesem kleinen symmetrischen Kreislauf aber steht ein großartiger Wasseraustausch zwischen Nord- und Südhälfte des Atlantischen Ozeans gegenüber, indem die Wasserschichten bis etwa 1200 m Tiefe nordwärts, die Tiefenschichten südwärts strömen.

Dieser Zirkulationssinn steht in Übereinstimmung mit der Verteilung des Salzgehaltes (Süden salzarm, Norden salzreich) und widerspricht der Verteilung der Temperatur (Süden kalt, Norden warm). Die große haline Zirkulation wird gefördert durch die Winde, aber als primäre Ursache kann nur die Salzgehaltverteilung in Betracht kommen, die trotz der entgegenwirkenden Wärmeverhältnisse bedingt, daß das südatlantische Wasser leichter ist als das nordatlantische.

Zum Schluß ging der Vortragende noch kurz auf die rechnerische Prüfung der aus den Beobachtungen abgeleiteten Resultate ein. Die Berechnung fußt auf der Grundlage, daß zwischen 40° Süd und 30° Nord in etwa 1200 m Tiefe kein horizontaler Strom in meridionaler Richtung vorhanden ist, da oberhalb die Bewegung nordwärts, unterhalb südwärts gerichtet ist. Es müsse demnach in der bei rund 1200 m Tiefe liegenden Niveaufläche Druckgleichheit herrschen. Berechnet man nun unter Berücksichtigung aller Einflüsse der Dichte und der Kompressibilität des Meerwassers sowie des Unterschiedes von geometrischer und dynamischer Tiefe die Höhe der Meeresoberfläche über der Niveaufläche in 1200 m Tiefe, so erhält man letzten Endes die Abweichungen der Meeresoberfläche von einer Niveaufläche, aus der sich dann Richtung und Größe des Druckgefälles ableiten läßt. Es ergibt sich aus diesen Rechnungen oberhalb 1200 m im allgemeinen ein Druckgefälle von Süden nach Norden; unterhalb von Norden nach Süden, also eine Bestätigung des früheren Resultats. Allerdings superponieren sich andere wichtige Vorgänge diesen allgemeinen Bewegungen. Bemerkenswert ist das Auftreten je eines Druckmaximums in etwa 20°—30° Süd und etwa 30° Nord. Wichtig ist der Einfluß des Windes, der die Dichtezirkulation fördern oder hemmen kann. In meridionaler Richtung haben die Winde nur eine modifizierende Wirkung, dagegen können sie in west-östlicher Richtung von entscheidendem Einfluß sein. Dies gilt namentlich für die Passate, die auf der nördlichen Halbkugel aus Nordosten, auf der südlichen aus Südosten, mit großer Regelmäßigkeit und Stärke wehend, das warme Wasser quer über den Ozean treiben und es an der amerikanischen Ostküste anstauen, während an der afrikanischen Westküste als Ersatz kaltes Auftriebwasser emporsteigt. Der Vortragende zeigte dann, wie bei der Horizontalzirkulation die windbedingten Ströme unter dem Einfluß der Erdrotation einwärts gerichtete Komponenten besitzen, während die Dichteströme auswärts weisende Komponenten haben müßten.

Unterhalb des 1200-m-Niveaus herrscht ein allgemeines Druckgefälle vom Nord- zum Südatlantischen Ozean bis etwa 4000 m Tiefe.

Im Anschluß an den Vortrag legte Professor *G. Schott* (Hamburg) die Ergebnisse der **ozeanographischen Arbeiten der Deutschen Antarktischen Expedition 1911—1912** vor, die von deren Mitglied Dr. *W. Brennecke* bearbeitet worden und soeben im Druck („Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte", 39. Jahrgang, 1921, Nr. 1. VI, 216 Seiten. Mit 41 Textfiguren und 15 Tafeln) erschienen sind.

In der Sitzung am 4. Februar 1922 machte zunächst Professor *W. Vogel* (Berlin) einige Mitteilungen über **die Neuen Staatenbildungen in Vorderasien,** über welche selbst die neuesten Atlanten durch unrichtige Grenzführung und Verwechselung von Namen vielfach falsche Ansichten verbreiten. Die alten Großstaaten Osteuropas, Rußland, Österreich-Ungarn und die Türkei sind in eine Reihe von Einzelstaaten zerfallen. Insbesondere ist das türkische Reich durch den Vertrag von Sèvres vom 10. August 1920 in zahlreiche selbständige Teile aufgelöst worden. Der Vertrag ist allerdings niemals voll zur Anerkennung gekommen und darf nur insoweit als Grundlage der politischen Karte gelten, als er die tatsächliche Macht- und Gebietsverteilung angibt. Der Reststaat der alten Türkei besteht jetzt aus dem größten Teil Kleinasiens und der Umgebung von Konstantinopel. Das Gebiet um Smyrna ist Griechenland überantwortet worden, welches deswegen heute noch im Kampfe mit der Türkei liegt, während Italien nur der Besitz einer Inselgruppe, des Dodekanes mit Rhodos, zugestanden wurde. Die oft erwähnte Einflußzone Italiens in Süd-Kleinasien wird im Vertrag nicht genannt und besitzt keine tatsächliche Bedeutung. Die Ostgrenze des türkischen

Reiches ist noch unbestimmt, denn hier war ein Armenischer Staat vorgesehen, dessen Grenzen jedoch erst durch die Vereinigten Staaten von Amerika festgesetzt werden sollten. Vorläufig gilt hier der im März 1921 abgeschlossene Vertrag zwischen den Kemalisten und Sowjetrußland, wonach Batum an Georgien, Erzerum, Kars, Ardahan an die Türkei fallen, und nur Eriwan den Mittelpunkt eines mit Rußland „verbündeten" Staates bildet. Als neue selbständige Staaten können betrachtet werden:

1. Georgien, 75 000 qkm, 3 Millionen Einwohner.
2. Aserbeidjan, die früheren russischen Gouvernements Elisabethpol und Baku umfassend. 60 000 qkm, 2,3 Millionen Einwohner. Dieser Staat ist in einem vielverbreiteten Atlas mit der benachbarten persischen Provinz gleichen Namens verwechselt worden.
3. Russisch-Armenien, das frühere Gouvernement Eriwan, dazu das autonome Territorium Nakhitschewan. Die Staaten 1—3 stehen unter Kontrolle der Sowjetregierung.
4. Das französische Mandatsgebiet Syrien ist viel größer als meist angegeben wird. 180 000 qkm, 3 Millionen Einwohner. Seine Südgrenze beginnt an der Küste des Mittelländischen Meeres nördlich von Akka und endet am Tigris. Innerhalb dieses Gebietes ist das Gouvernement Libanon als besonderes christliches Staatswesen begründet worden.
5. Das englische Mandatsgebiet Palästina soll zu einem jüdischen Staat ausgebaut werden. Es reicht ostwärts bis zum Jordan. 23 000 qkm, 650 000 Einwohner.
6. Mesopotamien, die Vilajets Mosul, Baghdad und Basra umfassend. 375 000 qkm, 2,9 Millionen Einwohner.
7. Arabien besteht aus einer Reihe von Einzelstaaten, von denen als wichtigste erwähnt seien: a) das Königreich Hedjas an der Westküste mit der Hauptstadt Mekka, ¾ bis 1 Million Einwohner; b) südlich anschließend das Gebiet von Asir, 1 Million Einwohner; c) Yemen, an der Südwestecke, das fruchtbarste Gebiet des ganzen Landes; d) Britisch-Aden, 200 qkm, 46 000 Einwohner; das dazugehörige Protektorat ca. 23 000 qkm; e) im Südosten das Sultanat Oman mit der Hauptstadt Maskat, 200 000 qkm, 500 000 Einwohner; f) im Gebiete der Wahabiten das Emirat von Nedsched (Er Riyadh), welches vor kurzem das benachbarte Emirat von Haïl im Dschebel Schammar sowie früher schon Hasa unterworfen hat; g) das Emirat von Kerak im Ostjordanland; h) das Sultanat von Koweit.

Den Hauptvortrag des Abends hielt Professor *F. Kühn* von der Universidad de Litoral in Argentinien über die Ergebnisse seiner **Forschungsreisen in den argentinischen Gebirgen.** Von dem uralten Kern Brasilia des südamerikanischen Kontinentes ist ein großer Teil in die Tiefe gesunken und liegt heute unter den Schichten der Pampa begraben. Ein isolierter, stehengebliebener Teil jedoch ragt in der Puna de Atacama aus der Tiefe empor. Das präkambrische Alter ihrer Falten beweist, daß sie dem System der Anden nicht angehört, vielmehr etwa als ein ähnliches Gebilde zu betrachten ist wie der Baltische Schild in Europa. Im Chacogebiet hat man selbst durch Bohrungen bis zu 2000 m Tiefe den alten Kern nicht erreicht. Die Randfalten der Puna, die pampinen Sierren, sind Gebirgsruinen, die man etwa den deutschen Mittelgebirgen gleichsetzen kann. Dadurch, daß diese alten Falten seit dem Paläozoikum Festland geblieben sind, scheiden sie sich scharf von der jungen Hochkordillere, die erst am Ende der Tertiärzeit aus dem pazifischen Ozean auftauchte. Die aus der andinen Geosynklinale gebildeten Falten wurden nach Osten hin überschoben, die alten Rumpfflächen gehoben, gefaltet und zerbrochen. Die Erkenntnis dieser großen Züge des argentinischen Gebirgsbaues ist wesentlich der Tätigkeit deutscher Geologen und Geographen zu verdanken, von denen *Stelzner, Brackebusch* und *Keidel* hervorgehoben zu werden verdienen. Die Kordillere ist zwar eine geologische Einheit, aber ihr nördlicher Teil streicht in Neuquen nach Südosten aus und verschwindet durch Untertauchen unter die jüngeren Schichten. In der patagonischen Kordillere sind die mesozoischen Sedimente im Gegensatz zum nördlichen Teile zu metamorphen Gesteinen umgewandelt worden.

Nordwest-Argentinien ist bis zur Breite von 38° südwärts eine trockene Hochgebirgswüste; erst dort beginnt die Region der ständigen Westwinde, denen sich bei ihrem Umkreisen der Südhemisphäre Südamerika als einzige Kontinentalmasse entgegenstellt. An der Westküste erreichen daher die Regenhöhen 3000 mm im Jahre, während z. B. San Juan am Ostfuß der Kordillere in 31½° Süd nur 65 mm Niederschlag erhält, der sich auf drei Sommermonate verteilt. Die mittlere Kammhöhe der Hochkordillere in den Provinzen San Juan und Mendoza beträgt 5000 m, die Paßhöhen steigen über 4000 m. Bis zu dieser Höhe ermöglicht das Maultier die Bereisung. In größeren Höhen ist man auf sich allein angewiesen. Zu solchen Schwierigkeiten in der menschen- und weglosen Einöde gesellt sich die Bergkrankheit. Dutzende von Gipfeln ragen hier über 6000 m empor, am höchsten, bis über 7000 m, der bereits mehrfach bestiegene Aconcagua, der höchste außerhalb Asiens gelegene Berg der Erde. Wegen der großen Trockenheit ist die Schneebedeckung überall nur gering. Die der Sonnenstrahlung ausgesetzte Nordseite des Aconcagua (ca. 32½° Süd) ist fast schneefrei; auf der Südseite reichen Firnfelder bis 4800 m hinab. Der 6800 m hohe Mercedario (32° Süd), der zweithöchste Berg Argentiniens, trägt keine Gletscher. Von den beiden Hauptketten der Kordillere bildet die westliche die Wasserscheide und dementsprechend auch die Grenze zwischen Chile und Argentinien. Die östliche aber ist die höhere, und sie trägt auch die Hauptgipfel. Zwischen beiden erstrecken sich tief eingeschnittene Längstäler, deren Flüsse in wilden Schluchten die Ostkordillere durchbrechen und in die Pampa hinausfließen, wo sie jedoch versiegen. Die Ostkordillere bleibt somit abflußlos, und eine breite Schuttzone an ihrem Fuße ist das Ergebnis dieser hydrographischen Verhältnisse. Aber auch in der Kordillere selbst findet sich über der unteren Felslandschaft, dem Gebiete der rezenten Erosion, eine Schuttregion, über der sich dann die Gipfelregion erhebt. Die baumlose Vegetation ist äußerst armselig. Nur harte Gräser, Dorngestrüpp und Kakteen kommen in weiter Zerstreuung bis 4000 m hoch vor. In den Tälern setzt während des Sommers ein mäßiger Hirtenbetrieb ein. Trotzdem fesselt die Naturschönheit dieser ungastlichen Höhen. Die trockene Luft ermöglicht eine Fernsicht auf ungeheure Weiten, und die bunten Gesteine entzücken im Sonnenschein durch ihre Farbenpracht. Die intensive Sonnenstrahlung bewirkt die Umwandlung der Firnfelder in Tausende von einzelnen, bis 7 m hohen Schneepfeilern, die Grup-

pen von weißgekleideten Büßern vortäuschen und daher dort Nieve de los penitentes (Büßerschnee), in Deutschland meist Zackenfirn genannt werden. Sie bilden eine besondere Eigentümlichkeit des argentinischen Hochgebirges und weisen eine Neigung auf, die dem Einfallen der Mittagssonnenstrahlen parallel ist, sich also mit der geographischen Breite ändert. Im Laufe des Sommers schmelzen sie fort und bilden sich in jedem Jahr von neuem.

Eine andere Reise galt der südpatagonischen Kordillere, zu deren Erforschung die in Argentinien lebenden Deutschen im Jahre 1916 eine deutsche Expedition ausgesandt hatten. Die patagonische Kordillere ist dadurch ausgezeichnet, daß auf eine Erstreckung von mehr als 1000 km an ihrem Ostfuß eine Reihe von Seen sich hinzieht, während vom Pazifischen Ozean her die Fjorde der chilenischen Küste tief in das Land eindringen und sich bis zum Westfuße der Kordillere erstrecken. Das Innere der Kordillere selbst ist gänzlich unerforscht. In den tieferen Teilen machen Urwald und Sumpf, in den höheren ungeheure Eismassen die Verwendung von Maultieren unmöglich, so daß man allein auf Menschen angewiesen ist, von denen jeder sein eigener Träger für die Lasten sein muß, die nur in Etappen von Lager zu Lager gebracht werden können. Die Vereisung der zentralen Kordillere reicht weit über das Maß der gewöhnlichen Hochgebirgsvergletscherung hinaus, denn es handelt sich hier um eine mehr als 400 km lange und 50 bis 100 km breite zusammenhängende Eisbedeckung, die geradezu den Eindruck einer eiszeitlichen Vergletscherung macht. Zweifellos ist dies auch der größte, aus der Eiszeit herstammende Rest, der außerhalb der Polargebiete noch auf der Erde vorkommt. Die Expedition erzwang sich den Zugang vom Viedmasee (49½° Süd) aus, der drei- bis viermal größer ist als der Bodensee. Der Viedmagletscher reicht bis in das Wasser des nur 200 m hoch gelegenen Sees hinab, wo er mit einer Eismauer von 30 m Höhe und 3000 m Breite abbricht. Daß sich hier durch den Vorgang der sogenannten Kalbung häufig große Massen von dem Gletscher loslösen, darauf deuten die zahlreichen Eisberge hin, die im Wasser umherschwimmen und mitunter das 80 km entfernte Ostufer erreichen. In einiger Entfernung von der Gletscherwand ist ihm eine langgestreckte Insel im See vorgelagert, die eine frühere Stirnmoräne darstellt und beweist, daß der Gletscher früher weiter in den See hineingereicht hat. Große Schwierigkeit verursachte die Ersteigung der Kordillere, die hier in der Schieferzone kühne zackige Bergformen aufweist, z. B. den Fitz Roy (49° Süd), den mächtigsten Berg Südpatagoniens und einen der imposantesten Gipfel der ganzen Erde, der 3400 m hoch mit 2000 m hohen Steilwänden emporragt und daher wohl unbesteigbar ist. Wenn es auch infolge des schlechten Wetters nicht gelang, das hier 50 km breite Gletschergebiet eingehender zu untersuchen, so hat doch die deutsche Expedition wichtige Beiträge zur Kenntnis dieses unerforschten Gebietes geliefert und viel dazu beigetragen, während des Weltkrieges im überseeischen Auslande dem deutschen Namen Ehre zu machen.

In der Fachsitzung am 20. Februar 1922 hielt Professor *Mildbraed* (Berlin) einen Vortrag über **das Afrikanische Regenwaldgebiet**, insbesondere den sogenannten Äquatorialwald. Das weitverbreitete Vorurteil, daß der Regenwald neben der Savanne nur eine untergeordnete Rolle spiele, gründet sich u. a. auf die von *Schimper* gegebene Vegetationskarte. Demgegenüber betonte der Vortragende, daß *Stanleys* Beobachtungen sich als richtig erwiesen hätten, und daß im Kongogebiete der Wald ziemlich geschlossen von 4° Nord bis 4° Süd reiche. 1500 mm Niederschlagshöhe genügen. Dagegen sind die vielfach angenommenen Galeriewälder länga der Flußläufe oft nicht vorhanden. Die nördlichen Zuflüsse des Kongo haben meist gar keinen Galeriewald, weil der Alluvialboden der Flüsse einer Waldentwickelung ungünstig ist. Nicht das Flußwasser selbst, sondern das durch Einschneiden des Flusses an den Hängen angeschnittene Grundwasser bedingt den Wald. Der Regenwald ist ein Mischwald, in dem reine Bestände äußerst selten sind. Im Kameruner Wald sind 400—500 Arten von Bäumen, 800 verschiedene Arten von Holzgewächsen festgestellt. Das Resultat des Kampfes um das Licht sind äußerst lange dünne Stämme, deren Kronen die mannigfaltigsten Formen zeigen, und in ganz verschiedene Höhen emporragen, wodurch eine äußerst unruhige Profillinie zustande kommt. Der ganze Wald bildet vom Boden bis zu den Gipfeln eine dichte Masse von Stämmen, Zweigen und Laubwerk, wofür *Junghuhn* die Bezeichnung horror vacui geprägt hat. Die vielfach beschriebenen Etagen in der Höhe der Urwaldpflanzen treten im typischen Urwald nicht hervor. Im Unterwuchs herrscht der Strauch durchaus vor; die Krautdecke ist nur locker und fehlt häufig.

An der Hand schöner Lichtbilder erörterte der Vortragende einige Eigentümlichkeiten der Tropenbäume. Die Brettwurzeln dienen zur Verankerung der Bäume im Boden. Da die Stämme über 50, nicht selten bis 68 m hoch werden, so greift der die Krone erfassende Wind an einem langen Hebelarm an, weshalb die Wurzeln eine besondere Versteifung erfahren müssen. Sehr schön zeigte sich an einigen Bildern der Übergang der Brettwurzeln zu Stelzwurzeln. Eine andere Merkwürdigkeit ist die Stammblütigkeit, die sich darin kundgibt, daß die Blüten direkt aus dem Stamme in geringer Höhe über dem Boden hervorbrechen. Die Schopfbäume zeichnen sich durch einen Schopf von Blättern am Ende eines dünnen Stammes aus. Besonders kennzeichnend für den Regenwald sind die Lianen und Epiphyten. Erstere sind gelegentlich bandartig verbreitert. Zu letzteren gehören die Rotangarten, lianenförmig wachsende Palmen mit Klettergeißeln, die Widerhaken tragen. Epiphyten sind verhältnismäßig selten und man hat deshalb vielfach dem afrikanischen Regenwalde die Eigenschaft eines echten tropischen Regenwaldes nicht zubilligen wollen. Dagegen läßt sich jedoch anführen, daß auch die als solcher anerkannte Hylaea des Amazonasgebietes in Südamerika arm an Epiphyten ist. Häufig sind sie an den feuchten nebelreichen Gebirgshängen, z. B. in dem Bergwald der Insel Fernando Poo, wo sie bis zu 800 m Höhe emporsteigen. In Bachsümpfen gedeihen oft weite Bestände von Raphiapalmen, deren einzelne Wedel bis 20 m Länge, ein Fiederchen desselben mehr als 2 m Länge erreichen kann. Die Zahl der Palmenarten ist gering. Ölpalmen sind im Urwald nicht vorhanden. Wo sie vorkommen, werden sie von Menschen kultiviert. Natürliche Unterbrechungen des Baumbestandes bilden die Waldwiesen, die jedoch räumlich immer sehr beschränkt sind. Solche Grasfelder findet man entweder auf sumpfigem Boden und dann oft mit Gruppen von Phönixpalmen durchsetzt, oder auf anstehendem Gestein, wo die Gräser in der Trockenzeit absterben. Verschiedentlich finden sich gerade auf überschwemmten Flußniederungen weite Sumpfgrasflächen oder ein niedriger Sumpfwald, der mit dem Hochwald nicht vergleichbar ist.

Der Sekundärwald wird durch Eingriffe des Menschen verursacht. Primäre Reste bleiben jedoch oft in ihm erhalten. Nur in dicht besiedelten Gebieten müssen auch die widerstandfähigsten Teile des Primärwaldes vor der Rodungstätigkeit der Menschen weichen. Wird jedoch das Siedelungsgebiet verlassen, so kann es mit der Zeit wieder völlig vom Primärwald in Besitz genommen werden. *O. B.*

Deutsche Ornithologische Gesellschaft.

In der *Sitzung am 5. Dezember 1921* besprach Prof. *Schalow* ein neues Werk über den Vogelzug: *Friedrich v. Lucanus*, Die Rätsel des Vogelzuges, ihre Lösung auf experimentellem Wege durch Aeronautik, Aviatik und Vogelberingung (Verlag von Beyer und Mann, Langensalza), und wies darauf hin, daß das Buch, das das gesamte Vogelzugproblem nach dem Stande der neuzeitlichen Forschung erschöpfend behandelt, eine wertvolle Bereicherung der ornithologischen Literatur sei, da die älteren Werke über den Vogelzug überholt sind

Dr. *Stresemann* führte in einem Vortrag über **Sprungvariationen in der Gefiederfärbung einiger Vogelarten** folgendes aus: Unter Sprungvariationen versteht man ein erbliches Abweichen vom eigentlichen Typus. Neben diesen erblichen Abweichungen kommen auch nichterbliche Mutationen vor, die stets durch äußere Einflüsse hervorgerufen werden im Gegensatz zu den erblichen Variationen, deren Ursachen im Innern des Organismus selbst liegen. Unter dem Einfluß der Domestikation zeigen sich erbliche Gefiedervariationen hauptsächlich bei Hühnervögeln, z. B. beim Pfau. In der Natur treten Sprungvariationen besonders bei den Steinschmätzern, den Tagraubvögeln, den Papageien, Raubmöven und Sturmvögeln auf. Bei Vogelarten mit abweichender Gefiederfärbung zeigt sich stets, daß sich die Paare nicht nach der Färbung zusammenfinden. Man darf also die Rolle der geschlechtlichen Auslese, soweit sie die Färbung betrifft, nicht überschätzen. Der sexuelle Anreiz wird bei den Vögeln hauptsächlich von anderen Eigenschaften ausgehen, wie Körperhaltung, Bewegung, Stimme usw. Die Sprungvariationen treten nicht immer im ganzen Wohngebiet der Art gleichmäßig auf. So überwiegt die helle Form des Eissturmvogels auf den Faröern, die dunkle auf Spitzbergen und im hohen Norden. Dagegen ist umgekehrt bei Stercorarius parasiticus der dunkelste Typ unter den Vögeln des hohen Nordens viel seltener als unter den mehr südlich beheimateten Raubmöven. Häufig läßt sich bei dichromatischen Arten nicht mehr nachweisen, welche Färbung die ursprüngliche ist. In den auffälligsten Fällen weicht die Mutante von der Ausgangsform entweder durch Anhäufung von Melanin in zuvor melaninfreien Federpigmenten, oder umgekehrt durch Melaninmangel in zuvor pigmentierten Federteilen ab.

In der Diskussion wies Prof. *Heck* darauf hin, daß beim Schwarzschulterpfau die Geschlechter nach verschiedenen Richtungen mutieren, da das Gefieder der Männchen pigmentreicher, der Weibchen aber pigmentärmer wird.

In der *Sitzung am 2. Januar* legte der Vorsitzende *v. Lucanus* eine neue Schrift des Prof. *Konrad Günther* vor: „Das Tierleben unserer Heimat", die in 3 Teilen eine gemeinverständliche Schilderung von der Entstehung der Tierwelt, den Grundlagen des Lebens und den Lebensgewohnheiten der Tiere enthält. Das sehr anregend geschriebene Buch gibt einen prachtvollen erschöpfenden Überblick über die Vorgänge in der Natur und ihre wechselseitigen Beziehungen.

Dr. *Heinroth* sprach über **Paarungsweisen der Vögel.** Die Begattung der meisten Vögel erfolgt nicht nach vorherigem heftigen Treiben, sondern gewöhnlich in aller Ruhe. In der Regel fordern die Singvögel das Weibchen durch Einnehmen einer geduckten Stellung zur Begattung auf. Viele Vogelpaare, wie Drosseln und Spechte, stehen sich während der Ehe dauernd geradezu feindlich gegenüber und meiden sorgsam jede Annäherung, die nur während des Begattungsaktes stattfindet. Bei manchen Vogelarten gehen der Begattung Zärtlichkeitsäußerungen voraus, z. B. ein Füttern aus dem Kropfe bei den Tauben und allen Körnerfressern. Raubvögelmännchen füttern mitunter das Weibchen während des Tretens. Bei den Pfauen und Truthühnern suchen nicht die Männchen die Weibchen auf, sondern umgekehrt die Weibchen die Männchen, sie stellen sich vor den balzenden Hahn hin und fordern ihn zur Begattung auf. Bei den Laufhühnchen, Turnix, sind die Paarungsgewohnheiten vertauscht. Die Weibchen, die auch schönere Farben tragen, balzen vor den Männchen, die äußerlich in ihrem schlichten Kleide ein Hennengefieder tragen und auch später die Brutpflege ausführen. Bei der Stockente und ihren Verwandten erfolgt im Herbst eine merkwürdige Begattung ohne Anschwellung der Keimdrüsen. Die Paarung der Entenvögel erfolgt auf dem Wasser, der Taucher dagegen auf dem Nest.

Friedrich v. Lucanus, Berlin.

Geophysikalische Mitteilungen.

Die Internationale Erforschung der oberen Luftschichten. Vom 25. bis 29. Juli 1921 fand in Bergen (Norwegen) die 7. Versammlung der Internationalen Kommission zur Erforschung der höheren Luftschichten statt. Am Empfangsabend demonstrierte *J. Bjerknes* (Bergen) im Geophysikalischen Institut an der Hand einer Reihe von Karten die Theorie der *Polarfront*. Es handelt sich dabei um eine neue Auffassung von dem Wesen der barometrischen Maxima und Minima, die sich durchzusetzen scheint und eine grundlegende Umwälzung unserer Vorstellung von den Witterungsvorgängen herbeiführen dürfte. Die große Wichtigkeit des Gegenstandes mag eine ausführlichere Würdigung gerade dieses Vortrages rechtfertigen.

Die nacheinander von Westen nach Osten in der gemäßigten Zone dahinziehenden Zyklonen sind aufzufassen als gewaltige Luftwogen, die sich an der Grenzfläche zwischen einer Polarkappe kalter Luft und den umgebenden wärmeren Luftmassen bilden. Die Schnittlinie dieser Grenzfläche mit der Erdoberfläche geht demnach durch die rund um den Pol verteilten Zyklonen und Antizyklonen. Die äußersten Nordzipfel der warmen Wellen fallen mit den Zentren niedrigen Druckes zusammen, die südwärts vorgeschobenen kalten Wellen der polaren Luft dagegen bilden die zwischen den Zyklonen auftretenden Keile hohen Druckes. Die Amplituden der Wellen entsprechen der Tiefe der Depressionen.

In dem Maße, wie die warme Luft an der Grenzfläche über die kalte Schicht emporsteigt, vermindert sich das Areal des warmen Sektors der Zyklone, so daß die an beiden Seiten von Norden her vordringenden Zungen kalter Luft sich immer mehr nähern und schließlich zusammentreffen können. Dann ist das Zentrum der Zyklone rings von Luft polaren Ursprungs umgeben, das System hat seine potentielle Energie ver-

loren und die Zyklone beginnt sich auszufüllen, wobei sie gleichzeitig durch den Mangel an Aeymmetrie stationär wird.

Gewöhnlich schlägt jede Zyklone bei ihrer Wanderung nach Osten einen etwas südlicher gelegenen Weg ein als ihre Vorgängerin, so daß der Depressionsgürtel sich allmählich den Subtropen nähert, bis ziemlich plötzlich wieder eine Verlagerung des Kurses nach Norden erfolgt. Man kann demnach die Zyklonen zu Familien zusammenfassen. Zwischen der letzten Zyklone einer Familie und der ersten der darauf folgenden hat denn die Polarluft freien Zutritt nach Süden in den Passatgürtel hinein. In der Regel zählt jede Familie vier Zyklonen, von denen die erste und die dritte am stärksten ausgeprägt sind. Seit Beginn des Jahres 1921 sind 34 Familien gezählt worden, von denen jede eine Dauer von durchschnittlich etwa 6,2 Tagen aufweist. Diese 6,2tägige Periode ist identisch mit einer der ausgeprägtesten kurzen klimatischen Perioden, die sich mit Hilfe der harmonischen Analyse in allen Teilen der gemäßigten Zone auffinden lassen.

In den Sitzungen wurden zahlreiche Vorträge gehalten, die jedoch aus Raummangel hier nur ganz kurz erwähnt werden können.

V. Bjerknes (Bergen) gab auf Grund der Wellentheorie eine Darstellung über die Luftzirkulation in den oberen Schichten der Atmosphäre und diskutierte die Rolle, welche diese Wellenbewegung in dem System der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre spielt. *Napier Shaw* (London) sprach über die Struktur der nordhemisphärischen Atmosphäre und ihren thermodynamischen Zustand im Juli. In einer Höhe von rund 8000 m ist die Luftdichte ziemlich gleichförmig über die ganze Erde verteilt ohne wesentliche Änderung im Laufe des Jahres. Darüber herrscht ein polwärts gerichteter Gradient der Dichte, darunter ein äquatorwärts gerichteter. *L. F. Richardson* (London) hob die grundlegende Bedeutung der Kontinuität der Masse für die theoretische Hydrodynamik hervor und forderte erhöhte Berücksichtigung der diesbezüglichen Gleichungen seitens der praktischen Meteorologie. *E. van Everdingen* (De Bilt) schilderte den Gebrauch des Aeroplans für Höhenbeobachtungen, die in Gemeinschaft mit den Aufzeichnungen von Pilotballons zur Konstruktion von Isobaren in 5000 m Höhe führen könnten. *S. Fujiwhara* (Tokio) besprach die turbulenten Bewegungen bei der Wolkenbildung, die im wesentlichen denen von Wasserwirbeln und Zyklonen ähneln. *J. Cruz-Conde* (Madrid) gab Aufschluß über die Organisation der aerologischen Beobachtungen in Spanien. *W. van Bemmelen* (Batavia) berichtete über die aerologischen Arbeiten in Batavia, die bis 30 000 m Höhe ausgedehnt werden konnten. In 17 500 m Höhe wurde ein Temperaturminimum von — 85° erreicht, darüber jedoch nicht die erwartete isotherme Schicht, sondern eine Temperaturzunahme gefunden, die bis zu den Temperaturen der Stratosphäre in den gemäßigten Breiten führte. *H. Köhler* (Haldde, Norwegen) hat Messungen und Analysen der Wasserpartikelchen in der Atmosphäre ausgeführt. Er weist nach, daß die Spannkraft des Wasserdampfes eines Tropfens durch den Gehalt an gelösten Salzen so stark vermindert werden kann, daß eine Kondensation möglich wird, selbst wenn die umgebende Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt ist. *L. F. Richardson* (London) diskutierte die Gültigkeit der geostrophischen Hypothese für die Stratosphäre. *A. de Quervain* (Zürich) machte Mitteilung von dem Plan der Errichtung eines geophysikalischen Observatoriums am Jungfraujoch in 3600 m Höhe, dessen Vorzug vor allen anderen in der leichten Erreichbarkeit durch die Eisenbahn bestehen würde. *Schereschewsky* (Paris) erläuterte eine Methode der Ortung von Pilotballons im Nebel. Die Ballons sind mit Knallpetarden versehen, die in regelmäßigen Zeitabständen explodieren. Die Schallwellen werden durch ein System von registrierenden Mikrophonen aufgenommen. *K. Sékigouchi* (Tokio) betonte den Nutzen der Konstruktion von Isobaren in 3000 und 6000 m Höhe für den täglichen Wetterdienst. *L. Matteuzzi* (Rom) legte ein für didaktische Zwecke geschriebenes Werk über die Wolken vor, das 22 Tafeln der Wolkenformen in farbiger photographischer Reproduktion enthält. Außerdem machte er eine Mitteilung über eine Voraussage des Luftdruckes, die sich durch Anwendung der harmonischen Analyse auf den progressiven Gang des Luftdruckes erreichen läßt. *O. Devik* (Tromsö) schilderte eine neue Methode der Beobachtung von Pilotballons und deren Verwertung für den täglichen Wetterdienst. Es handelt sich dabei um die Ausrüstung der Pilotballons mit automatisch funktionierenden Miniatur-Radiostationen, so daß ihr Kurs sich auch bei unsichtigem Wetter und über den Wolken verfolgen läßt. Der Vortragende hofft, daß es sich ermöglichen lassen wird, auch die jeweilige Temperatur durch Radio-Signale anzugeben. *G. J. Taylor* (Cambridge) machte Mitteilung von Untersuchungen über Turbulenz, die von dem aeronautischen Komitee veröffentlicht worden sind. Theoretische Überlegungen lassen es wahrscheinlich erscheinen, daß die Turbulenz durch ein Drucksystem verursacht wird, das mit der mittleren Windgeschwindigkeit fortschreitet. *R. Dongier* (Paris) berichtete über Diskontinuitätsflächen in der Atmosphäre, die am 21. Dezember 1920 am Eiffelturm beobachtet wurden, als eine obere wärmere Luftschicht sich mit größerer Geschwindigkeit über die untere hinwegbewegte. Kurslinie wie Böenlinie im Sinne von *J. Bjerknes* ließen sich feststellen. *J. Bjerknes* (Bergen) zeigte an mehreren Beispielen, wie die während des Krieges in so großer Zahl angestellten Beobachtungen sich für das Studium der höheren Luftschichten verwerten lassen. *Schereschewsky* (Paris) legte eine neue Methode der Wettervorhersage dar, bei welcher die graphische Darstellung der Änderung von Luftdruck und Temperaturen sowie die Berücksichtigung der Wolken, vor allem des alto-stratus, eine Hauptrolle spielen. *L. F. Richardson* (London) stellte ein ideales Schema für die Verteilung von Beobachtungsstationen für aerologische Forschungen auf.

Diesem reichen wissenschaftlichen Programm entsprachen umfangreiche organisatorische Verhandlungen und Beschlüsse. Da die deutschen und österreichischen Aerologen der Internationalen Kommission nicht mehr angehören, so haben sie mit holländischen, norwegischen und schwedischen Vertretern der Aerologie eine Arbeitsgemeinschaft für diejenigen Institute begründet, die ohne jeden Zwang wissenschaftlich miteinander verkehren wollen. Die Leitsätze dieses Übereinkommens wurden der Internationalen Kommission in der Eröffnungssitzung von dem Präsidenten *V. Bjerknes* zur Kenntnis gebracht. Es gelangten im ganzen 24 Beschlüsse zur Annahme. Sie beziehen sich meist auf verschiedene Einzelheiten über die Zahl der Aufstiege von Drachen und Registrierballons, Auswahl der Tage für die internationalen Beobachtungen, Verteilung der Kosten, Art der Veröffentlichung usw. Für wünschenswert erklärte man systematische Untersuchungen über die Ausbreitung des Schalles bei Explosionen, aerologische Beobachtungen auf See, meteorologische Messungen in den Hochalpen, z. B. am Jung-

fraujoch, sowie auf den Türmen der Funkstationen. Ein von *V. Bjerknes* und *L. F. Richardson* ausgearbeitetes Memorandum über die künftigen Aufgaben der aerologischen Forschung fand die Billigung der Kommission.

Von Wichtigkeit für unsere künftige Beteiligung an der Internationalen Aerologischen Forschung sind die letzten in der Schlußsitzung gefaßten Beschlüsse Nr. 22, 23 und 24, die deutlich zeigen, welch untergeordnete Stellung man Deutschland dabei zumutet. Ihr Wortlaut ist folgender: „Es wurde beschlossen: 22. Daß der Präsident ermächtigt wird, Bericht und Verhandlungen der gegenwärtigen Sitzung an die Direktoren der Institute von Ländern zu verteilen, die in der Kommission nicht vertreten sind. 23. Daß der Präsident ermächtigt wird, Abdrucke der ersten Ausgabe der Internationalen Publikation an die Direktoren von Instituten, die nicht in der Internationalen Kommission vertreten sind, zu verteilen und deren Meinung über die Form der Darstellung der Resultate einzuholen. 24. Daß der Präsident ermächtigt wird, Drucksachen und Programme (papers and agenda) der nächsten Sitzung an die Direktoren der nicht in der Kommission vertretenen Institute so rechtzeitig zu verteilen, daß Bemerkungen, die sie zu machen wünschen, noch vor der Sitzung eingehen[1])." Deutschland bleibt also nach wie vor ausgeschlossen. Es wird ihm aber gnädigst gestattet, seine wissenschaftliche Arbeit in den Dienst der Kommission zu stellen. *O. B.*

Lotschwankung und Deformation der Erde durch Flutkräfte, gemessen mit zwei Horizontalpendeln im Bergwerk in 189 Meter Tiefe bei Freiberg i. S. (*W. Schweydar*, Zentralbureau der internationalen Erdmessung, Neue Folge der Veröffentl. Nr. 38. Berlin, P. Stankiewitz, 1921, 4°, 114 S.) Im Anschluß an seine früheren Untersuchungen über die Wirkung der Flutkräfte auf den festen Erdkörper diskutiert *Schweydar* die Beobachtungen an 2 Zöllnerschen Horizontalpendeln, die in einem Bergwerk in Freiberg i. S. in 189 m Tiefe aufgestellt waren. Die 70 g schweren Pendel waren zwischen gespannten 0,04 mm starken Platiniridiumdrähten aufgehängt und hatten eine Doppelschwingungsdauer von etwa 30 sec. Sie waren in den Azimuten 140° und 230° orientiert. Die Zöllnersche Aufhängung wurde gewählt mit Rücksicht auf die guten Ergebnisse der Orloffschen Beobachtungen. Sehr bewährt hat sich auch die Aufstellung in großer Tiefe; hier macht sich die Schwingung, deren Periode ein Sonnentag ist, und welche im wesentlichen durch Temperatureinflüsse hervorgerufen wird, kaum mehr geltend: offenbar überhaupt nur durch eine kleine elastische Wirkung, bedingt durch die Bewegung der obersten Schichten. Sie erreicht nur mehr den Betrag von 0″,0015, gegen 0″,013 bis 0″,015 im Potsdamer Brunnen bei 25 m, und 0″,11 im Potsdamer Erdbebenhaus bei nur 3 m Tiefe.

Die Aufgabe, die sich *Schweydar* stellte, bestand nun darin, die Bewegung des Lotes von dem störenden Einflusse zu befreien, der durch den Druck der Ozeangezeiten entsteht. Da es nun nicht möglich ist, von vornherein zu entscheiden, welche Wellen sich besonders geltend machen, so wurde versucht, durch harmonische Analyse alle wichtigeren Partialtiden zu berechnen. In jeder wird sich der Einfluß der Ozeangezeiten anders geltend machen, schließlich sollen aber doch alle auf die gleiche Elastizität der Erde führen. Der Vergleich zwischen der beobachteten Bewegung des Lotes und den theoretischen Werten, wie sie für eine vollkommen starre Erde gelten müßten, ergibt für jede Partialtide die durch die Elastizität der Erde und den Gezeitendruck verursachte Veränderung der Amplitude und der Phase.

Für M_2 ergibt sich zunächst eine positive Phasenverschiebung, im Widerspruch zu *Darwins* Theorie der Flutreibung[1]). Es folgt daraus, daß die innere Reibung nicht die Rolle spielt, die man ihr zuzuweisen pflegt, und daß die Phasenverschiebung einen anderen Grund hat, der eben in einer sekundären Deformation der Erde durch die Meeresgezeiten gefunden wird. Die Symmetrie der Phase gegen den Meridian bei den Wellen K_1 und O_1 weist darauf hin, daß die sekundäre Störung hauptsächlich in der Nord-Süd-Richtung wirkt, während die Ost-West-Richtung davon frei ist. Es wird nun versucht, diese sekundäre Schwingung als elliptische Bewegung des Lotes darzustellen und unter der plausiblen Annahme, daß das Achsenverhältnis der beiden Ellipsen für K_1 und O gleich ist, gelingt es nicht nur die Amplituden der Störung, sondern auch die Größe $\gamma\,(=1+h-k)$, d. i. das Verhältnis der durch die Flutkräfte direkt bewirkten Lotbewegung zu ihrem Werte bei absolut fester Erde, zu bestimmen, und zwar wird $\gamma = 0{,}841$. Die Ost-West-Richtung, in der ein störender Einfluß nicht vorliegt, kann direkt verwendet werden; sie gibt für K_1: $\gamma = 0{,}810$, für O: $\gamma = 0{,}788$, endlich für das kleine Glied P: $\gamma = 0{,}966$.

Dagegen geben die halbtägigen Glieder stark abweichende Werte. Um nun hier auch den sekundären Einfluß herauszulösen, wurde mit dem obigen Wert $\gamma = 0{,}841$ die von der Flutkraft allein bewirkte Lotbewegung berechnet und mit den Beobachtungen verglichen. Hier zeigt sich nun in der Orientierung der die Störung darstellenden Ellipsen deutlich der Einfluß der Nordsee, doch scheint sich namentlich in M_2 auch das Mittelmeer geltend zu machen, was sich in einer kleineren Exzentrizität der Ellipse ausspricht.

Aus $\gamma = 0{,}841$ ergibt sich nun unter Einführung des Rocheschen Dichtigkeitsgesetzes:

$$\varrho = 10{,}1\left(1 - 0.764\left(\frac{r}{a}\right)^2\right)$$

für die Starrheitskonstante der Erde:

$$n = 30{,}8\cdot 10^{11}\left(1 - 0.90\left(\frac{r}{a}\right)^2\right)\ \text{cgs}$$

also für das Zentrum: $n = 30{,}8\,.\,10^{11}$, für die Oberfläche $3{,}1\,.\,10^{11}$ cgs. Nimmt man die Festigkeit der Erde durchwegs gleich, so ergibt sich $n = 17{,}6\,.\,10^{11}$,

[1]) Report of the proceedings of the seventh meeting of the International Commission for the Investigation of the Upper Air held in Bergen 25th. — 29th. july 1921. Published by the President. Bergen 1921. 51 S. 22 cm.

[1]) Der komplizierte zeitliche Verlauf der Flutkräfte wird dadurch übersichtlicher, daß man diese durch eine Summe von gleichzeitig wirkenden Partialkräften darstellt, von denen jede eine einfache harmonische Funktion der Zeit ist. Wie jede Einzelkraft auf dem Meere eine einfache Welle erzeugt, so erzeugt jede eine einfache elliptische Schwingung des Lotes von der Periode der Einzelkraft. Diese Partialellipsen, die sich zu einer komplizierten Bahn des Lotes zusammensetzen, bezeichnet man mit allgemein gebräuchlichen Buchstaben. M_2 ist das nahezu halbtägige Hauptmondglied, K_1 hat die Periode eines Sterntages, O und P haben die Periode von nahezu 24 Stunden; die letzten drei Partialellipsen rühren von der Deklinationsänderung des Mondes und der Sonne her. — In den Formeln ist a der Erdradius, r der Abstand vom Erdzentrum, k und h die Höhe der Deformation der Erdoberfläche (elastische Gezeiten) bzw. der Niveaufläche infolge der elastischen Gestaltsänderung der Erde in Einheiten der statistischen Meeresflut (= 54 cm für die Mond- und 25 cm für die Sonnenflutkraft).

also etwa die doppelte Festigkeit des Stahles. Die Periode der Polbewegung findet sich mit diesem Werte zu 425,4 Tagen gegen 423 ± 13 bei *Wanach*. Dies entspricht einem Werte von $h = 0{,}270$, und dazu findet sich mit $\gamma = 1 + h - k = 0{,}841$: $k = 0{,}429$. Damit wird berechnet, daß die elastischen Gezeiten durch den Mond eine Hebung der Erdoberfläche über die tiefste Lage von 23 cm bewirken, was durch den Einfluß der Meeresgezeiten noch verdoppelt wird. Für die Breite von Freiberg bleiben noch immer ± 10 cm; in guter Übereinstimmung mit den Resultaten direkter Beobachtungen, die *Schweydar* 1913 in Potsdam mit Hilfe eines Bifilargravimeters angestellt hat, welches zu dem Werte $\gamma = 1 + h - k$ noch eine Größe $a = 1 + k - \frac{3}{2} h$ liefert, so daß man nach dieser Methode h und k ohne Rücksicht auf irgendein Dichtegesetz und eine Elastizitätstheorie bestimmen kann.

A. Prey.

Akustische Tiefenmessung. Die verschiedenen Methoden, durch Lotung auf geometrischem Wege die Meerestiefen zu messen, kranken sämtlich daran, daß sie umständlich, zeitraubend und meist ziemlich ungenau sind. Vor allem jedoch lassen sie sich nur bei günstigem Wetter anwenden. Man hat daher bereits mehrfach den Versuch gemacht, auf indirektem Wege, z. B. durch Messung der Zeit, innerhalb welcher nach Erzeugung eines Schalles die vom Meeresboden reflektierten Schallwellen die Oberfläche wieder erreichen, durch Bestimmung der Fallzeit eines schweren Körpers, durch Ermittelung des Wasserdruckes am Meeresboden, durch Schwerkraftmessungen usw. Tiefenmessungen auszuführen[1]). Von diesen Methoden ist die akustische neuerdings so vervollkommnet worden, daß ihre praktische Anwendung keinerlei wissenschaftliches Personal an Bord eines Schiffes verlangt, sondern von der Schiffsbemannung ohne weiteres betätigt werden kann. Bei dem von *A. Behm* in Kiel konstruierten *Echolot* genügt es, nacheinander auf drei Knöpfe zu drücken, worauf ein Lichtstrich an einer Skala ohne merkbare Verzögerung die Wassertiefe anzeigt, die sich in dem Moment des Druckes auf den dritten Knopf unter dem Kiel des Schiffes befindet. Die Genauigkeit der Angaben beträgt etwa einen viertel bis einen halben Tiefenmeter, ist also nicht nur für praktische, sondern wohl auch für alle wissenschaftlichen Zwecke ausreichend[2]).

Die Vorteile des Verfahrens liegen auf der Hand. Der Schiffsführer ist jederzeit, auch nachts und bei schlechtem Wetter, in der Lage, ohne anderes Personal zu beanspruchen, in ganz kurzen Zeitabständen zuverlässige Lotungen auszuführen, die Tiefen bequem abzulesen und deren richtige Angabe sogar noch nachträglich kontrollieren zu können. Das Befahren von gefährlichen Küstengewässern, besonders in der Dunkelheit oder bei unsichtigem Wetter, wird durch die akustische Tiefenmessung erheblich an Sicherheit gewinnen, aber auch für Vermessungszwecke dürfte sie sich vorzüglich eignen. Wenn es gelungen sein wird, den Meßbereich des Behm-Echolotes[3]), das jetzt nur für geringere Tiefen eingerichtet ist, auch auf die größten Meerestiefen auszudehnen, wird es den Kabeldampfern eine bedeutende Erleichterung ihrer Aufgabe bringen. Mit einer für derartige Tieflotungen erforderlichen Registriervorrichtung kann es in jeden Handelsdampfer eingebaut werden und gibt dann die Möglichkeit, die Tiefen auf allen Schiffahrtsrouten mit jeder wünschenswerten Genauigkeit festzulegen. Eine Anpassung der Methode an die Zwecke der Luftfahrt ist gegenwärtig in Ausarbeitung. Sie soll es dem Luftfahrer ermöglichen, selbst in dichtestem Nebel die Höhe über dem Erdboden, die für ihn wichtiger ist als die vom Barometer angegebene Höhe über dem Meeresniveau, genau zu bestimmen. *O. B.*

[1]) Handbuch der Ozeanographie von *Otto Krümmel*, 2. Auf., Stuttgart 1907, Bd. *I*, S. 80—82.

[2]) Das Behm-Echolot. Von *A. Behm*. Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie, Berlin 1921, 49. Jahrg., Heft 8, S. 241—247, Tafel 10.

[3]) Ausblicke für die Verwendung des Behm-Echolots. Von *W. Brennecke*. Ebenda, 1921, 49. Jahrg., Heft 11, S. 363—364.

Jahresbericht des Schweizerischen Erdbebendienstes 1919. (*A. de Quervain*, Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Jahrgang 1919, Zürich 1920.) In einer Tabelle sind die in der Schweiz im Jahre 1919 gefühlten Beben zusammengestellt. Im ganzen sind es 57 Beben; das stärkste ist das am 16. November 1919 in den Berner und Walliser Alpen gefühlte. Seine Intensität im Epizentrum wurde in den 6. Grad der zehnteiligen Skala von *Forel-Rossi* eingeschätzt; 16 Beben sind in die 5. Stufe eingereiht worden. 14 Beben sind von den Seismographen der Erdbebenwarte in Zürich, wo sich zwei Horizontalseismographen, je einer für die Aufzeichnung nord-südlicher und ostwestlicher Bodenbewegungen, nach *Mainka* und ein Vertikalseismograph nach *Wiechert* für die auf- und abwärtigen Bewegungen befinden, aufgezeichnet worden. Besonders bemerkenswert sind sechs Bebenstöße im Kanton Glarus, Klöntal, 16. November bis 7. Dezember 1919, von denen nur einer, Stärke 6, in Zürich registriert worden ist, während die anderen, Stärke 4—5, dort nicht aufgezeichnet und auch nur etwa 1½ km entfernt vom Epizentrum gespürt worden sind. Als Erklärung für diese auffallende Erscheinung weist *de Quervain* auf die Tatsache hin, daß der Klöntaler See, ein Stausee, Druckschwankungen unterworfen ist und diese vielleicht auslösend auf lokale Spannungen in der obersten Erdschicht wirken können. Dieser Hinweis erscheint einleuchtend, vielleicht läßt sich eine Registrierung der Schwankungen ermöglichen, die in mancher Richtung wertvoll wäre.

In einer folgenden Tabelle werden die von den angeführten Apparaten in Zürich registrierten Nahbeben, d. h. Beben mit Epizentralentfernungen, die kleiner als 1000 km sind, aufgeführt. Neben den Zeitangaben für den ersten P- und zweiten S-Einsatz sind noch die Zeiten für das Diagrammaximum und das Ende gegeben. Auf Grund einer vorhandenen Laufzeitkurve für nahe Beben sind gemäß den Differenzen S—P die Epizentralentfernungen in Kilometern angeführt. Vielleicht läßt sich für die nächsten Berichte auch die tatsächliche Entfernung: Epizentrum-Zürich für die Beben, deren Epizentra, Orte stärkster Erschütterung, bekannt sind, angeben. Trotz aller bisherigen Bemühungen bleibt die Lage des Epizentrums zum Herd, Ausgang der Störung, fraglich. Nicht nur die Herdtiefe ist unbekannt, sondern auch die übliche Annahme, daß das Epizentrum senkrecht über dem Herd liegt, bedarf wohl in den meisten Fällen des Beweises. Für die Berechnung der Beschleunigungen sind ferner Perioden und Amplituden für die genannten Einsätze gegeben, so daß ein Vergleich mit der im Epizentrum beobachteten Intensität ausführbar wird. Die Perioden der einleitenden P-Wellen liegen zwischen 0,5 und 1 Sekunde; bei den S-Wellen kommen auch Wellen mit 2—3, auch 4 Sekunden Periode vor. Die beiden Horizontalkomponenten, die ganz und gar unabhängig voneinander sind, was für die Beobach-

tung von nahen Beben besonders beachtenswert ist, und die Vertikalkomponente zeigen nicht selten verschiedene Störungsperioden. Die Instrumente sind, was vielleicht noch zu bemerken ist, besonders für die Aufzeichnung naher Beben eingestellt. Abgesehen von den Nahbeben sind noch 30 Fernbeben registriert.

Als Anhang ist zunächst ein Aufsatz: „Über identische Seismogramme" von *de Quervain* und *de Weck* beigefügt. Dem Seismologen, der sich mit der Bearbeitung der Seismogramme beschäftigt, ist bekannt, daß Seismogramme gleicher Herde sich, soweit es die gleiche Warte anbetrifft, ähnlich sehen und daß es möglich ist, auf Grund einer solchen seismischen Visitenkarte den Ort der Herkunft der elastischen Wellen anzugeben. Vorausgesetzt ist, daß die Intensitäten der in Betracht kommenden Beben nicht zu sehr voneinander verschieden sind. Die Verf. untersuchen die Seismogramme des italienischen Erdbebenschwarmes vom August 1916 mit Rücksicht auf ihr Aussehen und geben, was bisher noch nicht geschehen, identische Seismogramme zweier Erdbebenpaare des gleichen Herdes des Bebens vom 15. August 1916 wieder. Von der Übereinstimmung, die bis ins kleinste geht, wird jeder überrascht sein. Ist S_1 das eine Seismogramm, S_2 das andere des gleichen Herdes für dieselbe Warte, sind ferner E^1_1, E^2_1 . . ., Ei_1 . . auffallende Einsätze des ersten, E^1_2, E^2_2, . ., Ei_2. . solche des zweiten Diagrammes, die mit denen des ersten identisch sind, so muß $E^1_2 — E^1_1 = E^2_2 — E^2_1 = \ldots$ $Ei_2 — Ei_1$ sein. Bis auf kleine Abweichungen trifft dieses nach der vorliegenden Arbeit auch zu. Nach der Ansicht der Verf. könnten diese Änderungen Schwankungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von einem Beben zum anderen zugeschrieben werden; diese Annahme, auch die Verf. sind dafür, müßte aber erst noch weiter geprüft werden. 1907 hat *Mainka* sich mit den Unterschieden $Ei_2 — Ei_1$ für verschiedene Warten beschäftigt und bemerkt, daß in diesem Fall eine Gleichheit der Differenzen der verschiedenen Erdwarten auf den gleichen Ausgangsort der beiden Beben hinweist, also auch als Bestimmung der Lage des Epizentrums des einen Bebens benutzt werden kann, wenn die des anderen bekannt ist. In diesem Fall kann aus auftretenden Abweichungen der Zeitunterschiede schließlich ein Schluß auf die relative Lage der beiden Störungsgebiete zueinander gezogen werden.

In einer weiteren Arbeit: „Ein erster Fall diametraler Ausbildung des anomalen Schallgebietes und seine Bedeutung" untersucht *de Quervain* die Ausbreitung der Schallstrahlen gelegentlich der Explosion von Vergiate, 26. XI. 1920. Über anomale Schallausbreitung und Schweigezone ist in den letzten Jahren verschiedentlich berichtet worden. Nach *A. de Quervain* können derartige Anomalien infolge von Temperaturabnahme und Windzunahme mit der Höhe eintreten. *v. d. Borne* sucht eine zutreffende Erklärung in der Leitung der Schallstrahlen von der Störungsquelle über die Schweigezone hinweg in das Gebiet anomaler Hörbarkeit durch die Wasserstoffsphäre, die nach *Hann* und *A. Wegener* bei 70 km Höhe beginnen soll. Nach *de Quervain* schließt dieses Prinzip das erste meteorologische nicht aus. Der meteorologische Erklärungsversuch fordert eine einseitige Ausbildung der anomalen Hörbarkeitszone, wogegen das erstere eine ringförmige fordert. Entsprechend der vorliegenden Untersuchung stellt *de Quervain* „wohl zum erstenmal ein Gebiet der anomalen Hörbarkeit fest, das auf nahezu diametral zur Schallquelle liegenden Gegenden mit großer Deutlichkeit, ja mit Heftigkeit auftritt". Trotz alledem wünscht Verf. experimentelle Versuche großen Stils, die von der internationalen Kommission (international stimmt wohl nicht, da die Zentralmächte ausgeschlossen waren. D. Ref.) in Paris Oktober 1919 in Aussicht gestellt worden sind.

Die Explosion ist auch von den Seismographen in Zürich, Stuttgart, Ravensburg, Chur, die drei ersten Warten haben die gleichen Horizontaleeismographen, registriert worden. Als Ausbreitungsgeschwindigkeit der Explosionswellen für die oberste Erdkruste ergibt sich, übereinstimmend mit anderen Resultaten, 5,5 km/sec^{-1}. *Mainka.*

Erdbeben in Bayern 1908/20 (*C. W. Lutz.* Mit geologischen Anmerkungen von *J. Schwertschlager.* Sitz.-Ber. der Bayer. Ak. d. Wissensch., Math.-phys. Klasse 1921.) Die Erdbebenchronik Bayerns reichte zunächst von den Anfängen der geschichtlichen Zeit bis zum Jahre 1908; die vorliegende Zusammenstellung bildet die Fortsetzung bis 1920. Neben den in Bayern unmittelbar gefühlten Erdbeben, von denen rund 100 aufgeführt sind, sind auch 23 Beben angegeben, deren Ausgangsorte in den benachbarten Ländern lagen, die aber doch infolge ihrer Stärke auch in Bayern von Menschen gefühlte Bodenbewegungen ausgelöst haben. Bemerkenswert ist, daß nicht nur österreichische, vogtländische, württembergische und schweizerische Beben in Bayern von Menschen gefühlt wurden, sondern auch zwei ober- und sogar ein mittelitalienisches Beben.

Die unmittelbar von Menschen angestellten makroseismischen Beobachtungen sind noch ergänzt durch instrumentelle Beobachtungen der Erdbebenwarten München, Nördlingen, Hausham und Hof, errichtet bzw. 1905, 1911, 1914, 1909. Bei 82 Beben ist die maximale Bebenstärke im eigentlichen Schüttergebiet angegeben; es kommen auf Stärke II: 13, Stärke III: 38, Stärke IV: 23, Stärke V: 6, Stärke VI: 1 und Stärke VII: 1 aufgezeichnete Beben; von den beiden letzten Warten sind Registrierungen nicht geliefert worden.

Besondere Aufmerksamkeit erfordern die 48 Beben des Altmühljura, die tektonischen Charakters am Schluß des Berichtes in geologischer Hinsicht besonders besprochen sind. Nicht nur bei diesen, sondern auch bei fast allen übrigen Beben ist unterirdisches Rollen gehört worden. Auch die Einsturzbeben, namentlich die am Euerwanger Bühl, rufen das Sonderinteresse des Seismologen hervor. Wenn auch der Bericht (der Druckkosten wegen) sehr zusammengedrängt ist, so enthält er doch mancherlei schätzenswerte Anregungen. *Mainka.*

Internationale Listen afrikanischer Ortsnamen. Den Listen europäischer und asiatischer Ortsnamen, über welche in dieser Zeitschrift kurz berichtet wurde (1921, 9. Jahrgang, Heft 39, S. 784, und Heft 42, S. 862), hat das Permanent Committee on Geographical Names for British Official Use im Dezember 1921 eine First General List of African Names (8 pag., Preis 6 d.) folgen lassen, die in gleicher Weise etwa 250 der wichtigsten geographischen Namen des größten Teils von Afrika enthält. Reichhaltiger als diese ist eine im Februar 1922 erschienene First List of Names in Tanganyika Territory (16 pag., Preis 6 d.) mit den Namen in unserem früheren Schutzgebiete Deutsch-Ostafrika, die fast doppelt so viele Namen enthält. Weitere Listen der Goldküste, Kameruns und Britisch-Togos sind in Vorbereitung. *O. B.*

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W. 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW 19.